

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODODGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

---

Mentor:

Doc. dr.sc. Slaven Dobrović

Alen Džeko

Zagreb, 2009.

## Sažetak

Ovim radom razrađene su investicijske i ekološke studije opskrbe vodom otoka Lastova za četiri moguća tipa:

- Prerada bočate vode reverznom osmozom
- Prerada morske vode reverznom osmozom
- Dobava vode podmorskim cjevovodom s kopna
- Dobava vode brodom.

U prvom dijelu modelirani su sustavi prema potrošnji vode u referentnoj godini. Nakon prikupljanja potrebnih podataka napravljena je investicijska i studija utjecaja na okoliš za sva četiri tipa opskrbe i određena najoptimalnija opcija.

## Sadržaj

1. Uvod .....	8
2. Opis otoka Lastova [1] .....	9
3. LCA metoda [2,3,4] .....	10
4. Analiza stanja.....	16
5. Postrojenje za desalinizaciju morske vode .....	18
5.1. Opis postrojenja za desalinizaciju morske vode [5,6].....	18
5.2. Modeliranje postrojenja.....	24
5.3. Investicijska studija .....	25
5.4. Studija utjecaja na okoliš.....	27
6. Postrojenje za desalinizaciju bočate vode .....	35
6.1. Modeliranje postrojenja za obradu bočate vode .....	36
6.2. Investicijska studija .....	37
6.3. Studija utjecaja na okoliš.....	39
7. Opskrba pitkom vodom putem podmorskog vodovoda .....	45
7.1. Investicijska studija .....	46
7.2. Studija utjecaja na okoliš.....	48
8. Opskrba vodom putem vodonaosaca.....	52
8.1. Investicijska studija .....	53
8.2. Studija utjecaja na okoliš.....	54
9. Usporedba rezultata .....	58
9.1. Usporedba investicijskih troškova .....	58
9.2. Usporedba utjecaja na okoliš .....	61
10. Zaključak.....	63
Literatura .....	64
Prilozi: .....	65

## Popis slika:

Slika 1. Prikaz otoka Lastovo .....	9
Slika 2. Shema procesa transformacije.....	11
Slika 3. Profil mjesečne potrošnje vode.....	16
Slika 4 .Odnos potrošnje vode između ljetnih mjeseci i ostatka godine.....	17
Slika 5. Osnovni dijagram sustava za reverznu osmozu .....	18
Slika 6. Shematski prikaz osmoze i reverzne osmoze.....	20
Slika 7. Princip reverzne osmoze.....	21
Slika 8. Presjek modula .....	21
Slika 9. RO moduli u postrojenju za desalinizaciju .....	22
Slika 10. RO moduli u postrojenju za desalinizaciju .....	22
Slika 11. Primjer postrojenja u Mas Palomas, Španjolska (1300 m <sup>3</sup> /dan).....	23
Slika 12. Radna točka pumpe .....	30
Slika 13. „Stablo“ postrojenja za desalinizaciju.....	31
Slika 14. Karakterizacija utjecaja na okoliš .....	32
Slika 15. Težinski faktor .....	33
Slika 16. Radna točka pumpe .....	41
Slika 17. „Stablo“ procesa desalinizacije bočate vode .....	42
Slika 18. Karakterizacija utjecaja na okoliš .....	43
Slika 19. Težinski faktor .....	44
Slika 20. Prikaz cjevovoda NPKL.....	45
Slika 21. Stablo procesa podmorskog vodovoda.....	49
Slika 22. Karakterizacija utjecaja na okoliš .....	50
Slika 23. Težinski faktor .....	51
Slika 24. Prikaz vodonosca .....	52
Slika 25. „Stablo“ procesa .....	55
Slika 26. Karakterizacija utjecaja na okoliš .....	56
Slika 27. Težinski faktor .....	57
Slika 28. Usporedba kapitalnih investicija .....	58
Slika 29. Usporedba troškova.....	59
Slika 29. Usporedba troškova i potrošnje energije po m <sup>3</sup> .....	60
Slika 31. Težinski faktori sva 4 tipa vodoopskrbe.....	61
Slika 32. Ukupni utjecaj na okoliš za sva 4 tipa vodoopskrbe.....	62

**Popis tablica:**

Tabela 1. Kriteriji za dodjelu eko bodova.....	27
Tabela 2. Materijali za RO postrojenje .....	27
Tabela 3. Kemikalije za RO postrojenje .....	28
Tabela 4. Materijali za RO postrojenje .....	39
Tabela 5. Materijali za RO postrojenje .....	39
Tabela 6. Struktura cijene .....	47
Tabela 7. Investicijski i „tekući“ troškovi .....	59

## Popis oznaka i mjernih jedinica

m - masa

H - visina dobave

Q - protok

W - potrošnja energije

p - tlak

m - metar

m<sup>3</sup> - metar kubni

m<sup>3</sup>/h - metar kubni po satu

m<sup>3</sup>/god. - metara kubnih godišnje

l - litra

l/s - litra po sekundi

kg - kilogram

kg/h - kilogram po satu

bar - bara

## Izjava

Izjavljujem da sam diplomski rad izradio samostalno, isključivo znanjem stečenim na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, Sveučilišta u Zagrebu uz pomoć doc. dr. sc. Slavena Dobrovića kojemu se ovim putem duboko zahvaljujem, te literaturom navedenom u popisu reference.

Ovim putem želio bih se zahvaliti gospodinu Krunoslavu Felleru iz tvrtke Feller d.o.o. koji me je upoznao s opremom upotrebjenom u diplomskom radu.

## 1. Uvod

Za ljudsko društvo voda je nezamjeniv resurs jer se osim za piće i pranje u domaćinstvima koristi i za navodnjavanje u poljoprivredi, a zbog svojih fizikalno-kemijskih svojstava ima vrlo važnu ulogu u mnogim industrijskim procesima. Nažalost, danas je sve prisutniji problem onečišćenja prirodnih resursa vode i svakodnevno smanjivanje raspoloživih količina zdravstveno ispravne vode.

Pitka voda, kao osnovni element za preživljavanje svih živih organizama, postaje sve nedostupnija i dragocjenija. Iako je voda ljudima na kopnu bila vrlo dostupna to nije slučaj sa otocima, te je u tu svrhu potrebno izraditi investicijsku i ekološku studiju opskrbe vodom otoka Lastova. Neriješena vodoopskrba može postati ograničavajući čimbenik u razvitku tog područja.

Predviđeni načini osiguranja pitke vode su:

- Prerada bočate vode reverznom osmozom
- Prerada morske vode reverznom osmozom
- Dobava vode podmorskim cjevovodom s kopna
- Dobava vode brodom.

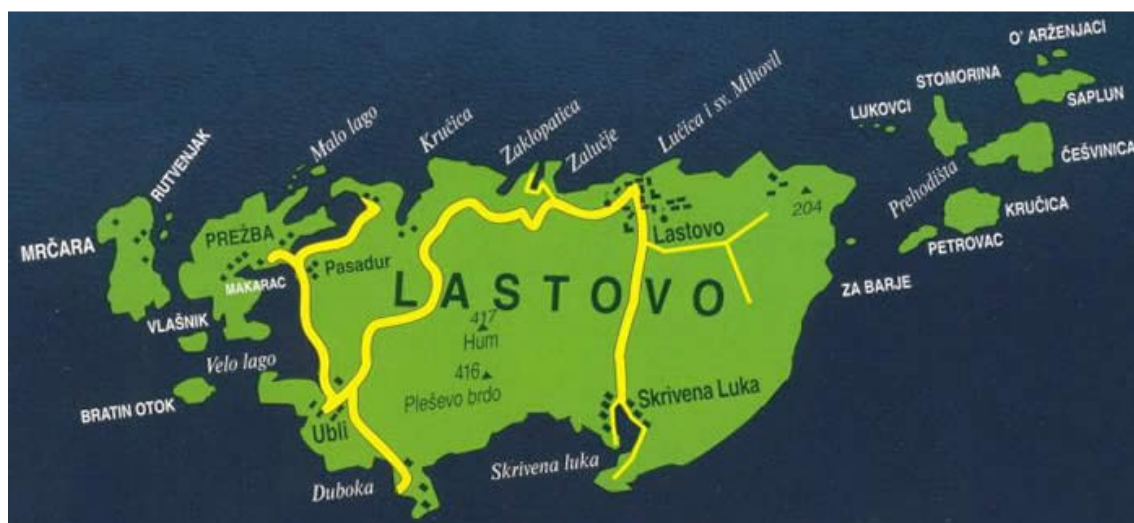
U okviru ove analize će se predložiti najoptimalnija varijanta opskrbe vodom, uzimajući u obzir potrebne investicije za svaki od slučaja i njihov utjecaj na okoliš.



## 2. Opis otoka Lastova [1]

Lastovo je južnodalmatinski otok površine 47 km<sup>2</sup> (približno 10\*4.5km), trajektom udaljen 90 km od obale Hrvatske i 125 km od obale Italije. Tijekom godine ima približno 800 stanovnika, a u turističkoj sezoni broj stanovnika poraste preko 2500. Najveći komunalni problem Lastova je osigurati dovoljne količine pitke vode tijekom ljetnih mjeseci.

Klima otoka Lastova je izrazito mediteranska s jesenskim i zimskim kišama i ljetnim sušama. Vrijednosti temperatura rijetko su ispod 10 °C i iznad 30 °C. Srednja godišnja količina oborina za 30-godišnje razdoblje (1961-1990), mjereno u meteorološkoj postaji na brdu Kaštel iznad mjesta Lastovo, iznosi 691 mm, od čega se na hladni dio godine (listopad – ožujak) odnosi 67% (Milković, 1998). Lastovo je morfološki izrazito razveden i krševit otok s desetak vrhova viših od 200 m, a Sv. Juraj (417 m) i Pleševo brdo (415 m) su najviši. Novi Hum (204 m) i Sv. Vid (186 m) kod samog Prgovog polja su najviši vrhovi na istočnom dijelu otoka.



Slika 1. Prikaz otoka Lastovo

### 3. LCA metoda [2,3,4]

Pod pojmom "tehnički sustav" se podrazumijeva proizvoljni proizvod, tehnologija i proces njegove proizvodnje ili likvidacije, proizvodni sustav ili proizvodna cjelina, u kojem navedene tehnologije ili procesi moraju biti realizirani, sam proces korištenja, a konačno, i sistem službi održavanja ovih objekata za vrijeme njihovog životnog vijeka. Sa gledišta vremenskog horizonta navedeni objekti se mogu nalaziti u fazi projektiranja, proizvodnje, korištenja ili likvidacije. Pri tome procedura ocjenjivanja može biti orijentirana i na više faza. Sa gledišta jednoznačnosti shvaćanja semantike nekih pojmova koji se pojavljuju u ovoj metodologiji, neophodno je navesti njihovo stručno objašnjenje:

Ekološki tehnički sustav – kompleksna osobina koja obuhvaća i respektira niz faktora i ekološko orijentiranih kriterija za vrijeme projektiranja, proizvodnje, korištenja i likvidacije.

Ekološki odgovarajući tehnički sustav – sustav koji ispunjava niz kriterija ekološkosti.

Ekološki sigurna (čista) proizvodnja – proizvodni proces po mogućnosti zatvorenog karaktera (u odnosu na okolinu sustava odgovarajuće proizvodne cjeline), sa aplikacijom ekoloških i ekonomski progresivnih tehnologija kod optimalnog korištenja izvora.

Ekološki nivo – kvantitativno karakteriziran ekološki nivo istraživanog ili vrijednovanog objekta u usporedbi sa stanjem koje je prihvaćeno za standard.

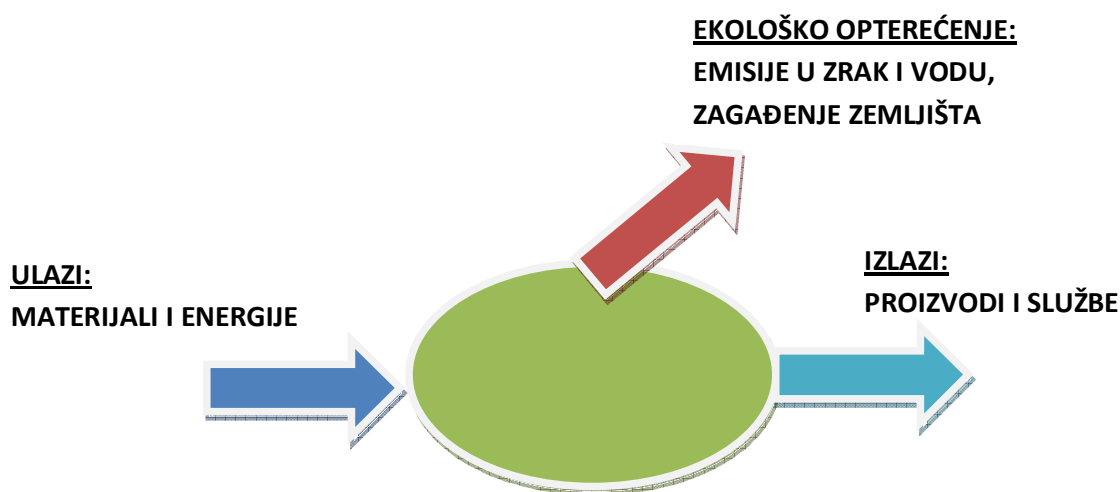
Ekološke karakteristike – suma pokazatelja ispitivanog ili vrijednovanog objekta koje omogućuju određivanje njegovog ekološkog nivoa. Zaštita životne sredine postaje prioritet skoro svake organizacije.

Definiranjem i izgradnjom trajno održivog razvoja, moguće je obezbjediti potrebe u sadašnjosti, bez ugrožavanja budućih generacija. Primjena dobrovoljnih sistema eko-menadžmenta, pored legislative, stvara pozitivni pristup ka zaštiti životne sredine, u svim pogledima djelovanja u konkretnom društvu. Značajan alat primjenljiv kod realizacije efikasnog i efektivnog sistema eko-menadžmenta, je metoda ocjenjivanja životnog ciklusa (LCA – Life Cycle Assessment), koja ima u osnovi ocjenjivanje ekoloških aspekata proizvoda i

njihovih mogućih utjecaja na životnu sredinu u njegovim pojedinim stadijima, od stvaranja sirovina kroz proizvodnju, distribuciju, primjenu i likvidaciju, u cilju smanjenja štetnog djelovanja. U nekim europskim zemljama u vezi sa ovim možemo se sresti sa pojmom "Eko - balans", eventualno REPA (Resource and Environment Profile Analysis). Radi se o procesu, u kojem se ocjenjuje kako potrošnja energije i materijala, tako i utjecaj na zdravlje ljudi i stanje ekosustava u reprezentativnim fazama egzistencije tehničkog sustava, proizvoda ili procesa. Time se analiza LCA razlikuje od ostalih analiza, kao što su EIA (Environmental Impact Assessment – ocjenjivanje utjecaja na životnu sredinu), vrjednovanje rizika i ekološki audit, koje su usredotočene na obujam i djelovanje proizvoda, procesa i službi na životnu sredinu, u određenoj etapi njihove egzistencije.

LCA pruža sistemski okvir za identifikaciju, analizu i plansku redukciju negativnih ekoloških rezultata, u vezi sa pojedinim fazama životnog ciklusa proizvoda. Vrlo je značajan alat pri stvaranju novih proizvoda, inovacija ili rekonstrukciji postojećih proizvoda, odnosno proizvodnih sustava. Posredstvom LCA je moguće doći do novih informacija za odlučivanje, kako u oblasti strategije tako i za tekuće upravljanje organizacijom. To znači da je LCA je efikasna forma ekološke analize.

LCA je direktno vezana sa proizvodnim sustavom (PS), koji može biti shvaćen kao transformacijski proces promjene ulaza na izlaze (slika 2).



Slika 2. Shema procesa transformacije

Prema prihvaćenim standardima, ključna obilježja LCA studije su:

- studije LCA trebaju sistematski i primarno odrediti ekološke aspekte proizvodnog sustava i dobijanje sirovina do konačnog eliminiranja štetnog djelovanja;
- nivo temeljnosti i vremenski okvir studije LCA mogu se mjenjati u velikom rasponu, prema definiranom cilju i predmetu studije;
- predmet, pretpostavke, nivo kvalitete podatka, metodika i izlaz studije LCA moraju biti pregledni. Studije LCA trebaju razmatrati i dokumentirati izvore podataka i jasno i primarno ih servirati;
- poduzete mjere moraju zavisiti od pretpostavljene primjene studije LCA i trebaju respektirati informacije i vlasničke odnose;
- metodika LCA treba da bude dostupna novim egzaktnim otkrićima i poboljšanjima na nivou suvremenog stanja tehnologije;
- kod primjene studije LCA, aplicirani specifični zahtjevi se primjenjuju za stvaranje upoređujućih proizvoda, koji su dostupni javnosti;
- rezultati LCA ne treba reducirati na jednostavne zbirne podatke i brojeve, jer u raznim stadijima životnog ciklusa su važni razni odnosi i pripajanja analiziranih sustava;
- ne postoji jedinstvena metoda za pripremu studije LCA. Prema međunarodnom standardu pojedine organizacije trebaju fleksibilno koristiti LCA na osnovu specifične primjene i zahteva korisnika.

Glavni principi LCA studije su:

- jasno definirati ciljeve i obim studije još prije početka radova, od kojih se onda odvijaju svi sljedeći koraci. Od točno i jasno definiranih ciljeva zavisi kvaliteta studije;
- jasno definirane granice sustava. Granice bi trebale obuhvatiti sve što je potrebno analizirati u svakoj fazi životnog ciklusa proizvoda. Svaki industrijski sustav je reprezentiran granicom koja ograničava aktivnosti, koje su predmet interesa. Prostor izvan granice – okolina sustava – služi kao izvor ulaza u sustav i prihvatni element izlaza iz sustava.

Određivanje granica sustava je najvažniji zadatak na početku LCA, jer su pogrešne interpretacije izvor najvećih grešaka;

- računati sa regionalnim ili gradskim razlikama kod određivanja uslova granica;
- izbjeći višestruko računanje istih stavki, kao što su potrošnja energije, materijala i produkcije otpada ili zagađenja;
- održati koegzistenciju pri formiranju katastarske baze podataka. Jedinice moraju biti usporedljive i primjenjivane na odgovarajućim mjestima;
- obuhvatiti energetska vrijednost materijala i proizvodnu vrijednost energetskih izvora;
- kod prikupljanja podataka za LCA, neophodno je uzimati u obzir sljedeće faktore:
  - o prikupljanje podataka je vremenski najzahtjevniji dio analize,
  - o mnogi podaci su skriveni, tako da je vrlo teško doći do njih,
  - o javno dostupni podaci (publikacije) su većinom zastarjeli, ne sadrže zahtjevano detalje i ne održavaju važne trendove proizvodnje i tehnologije,
  - o potrebno je što brže i točnije prikupiti podatke potrebne ekspertima za analize.

#### Cilj i predmet LCA studije

Cilj LCA studije mora jednoznačno izražavati pretpostavljenu primjenu, razloge za izradu studije i pretpostavljene primaoce.

Kod definiranja predmeta LCA studije moraju se respektirati i jasno opisati sljedeći elementi:

- funkcije sustava proizvoda u slučaju usporednih studija sistema proizvoda,
- funkcionalna jedinica,
- analizirani sustavi proizvoda,
- granice sustava proizvoda,
- pridruženi postupci,

- tipovi utjecaja i metodika ocjenjivanja utjecaja, uključujući naredne interpretacije,
- zahtjeve u vezi sa podacima,
- pretpostavke,
- ograničenja,
- zahtjevi u vezi sa kvalitetom polaznih podataka,
- tip kritičnog ispitivanja (ukoliko postoji),
- tip i oblik informacije koja se zahtjeva za studiju.

Predmet se mora dovoljno dobro definirati da bi nivo dubine i detaljnosti predmeta studije bili kompatibilni i dovoljni za postizanje definiranog cilja.

Cilj interpretacije životnog ciklusa je analiza rezultata, ostvarenih zaključaka, objašnjenje ograničenja i pružanje preporuka zasnovanih na utvrđenim činjenicama prethodnih faza LCA i izvještavanje o rezultatima interpretacije životnog ciklusa. Interpretacijska faza životnog ciklusa u studiji LCA se sastoji iz sljedećih elemenata:

1. Identifikacija značajnih problema zasnovana na rezultatima faza LCA studiji.
2. Vrijednovanje, koje podrazumjeva kontrolu potpunosti, osjetljivosti i jedinstvenosti.
3. Zaključci, preporuke i davanje izveštaja o značajnim problemima.

Zadatak interpretacije životnog ciklusa je pružiti i jasno prihvatljivu ponudu i jedinstvenu prezentaciju rezultata studije LCA, u skladu sa definiranim ciljem i predmetom studije.

Ukratko, LCA metodom se obuhvaćaju svi djelovi nekog sustava od proizvodnje (ako je riječ o nekom proizvodu) do likvidacije. Ako za primjer uzmemo aparat za kavu, LCA metodom ćemo ga morati raščlaniti na njegove osnovne dijelove i odrediti potrebne sirovine i njihove količine za izradu tog aparata. Nakon toga ćemo odrediti potrebnu energiju za proces njegove proizvodnje i sve ostale procese do samog kupca (pakiranje, transport, ...). Kada smo sve to odredili potrebno je i obuhvatiti proces korištenja samog aparata i njegov životni vijek. To znači da moramo odrediti i potrošnju energije za vrijeme životnog vijeka, potrošnju kave, ...

Kada smo sve to odredili sa tim podacima ulazimo u proračun u kojem se određuju svi ekološki utjecaji od same proizvodnje dijelova za aparat, energije potrebne za sastavljanje, transporta do trgovine, korištenja, ...

Ovim primjerom smo pokazali da se u LCA metodi proračun ekoloških utjecaja ne zadržava samo na određenom proizvodu ili procesu, nego obuhvaća sve dijelove tj. cijeli njegov životni ciklus.

Cilj ove metode je odrediti kritična mjesta u nekom sustavu u cijelom njegovom životnom ciklusu, što će pomoći u smanjenju ekoloških utjecaja nekog sustava u cijelini.

Rezultati dobiveni ovom metodom se prikazuju u eko bodovima, a oni se određuju prema količini ispuštenih štetnih tvari i njihovom utjecaju. Svaka tvar drugačije utječe na okoliš i žive organizme pa tako za iste količine različitih tvari imamo različite utjecaje. Kriteriji po kojima se dodjeljuju bodovi za određeni utjecaj su navedeni u tablici ispod.

**Tabela 1. Kriteriji za dodjelu eko bodova**

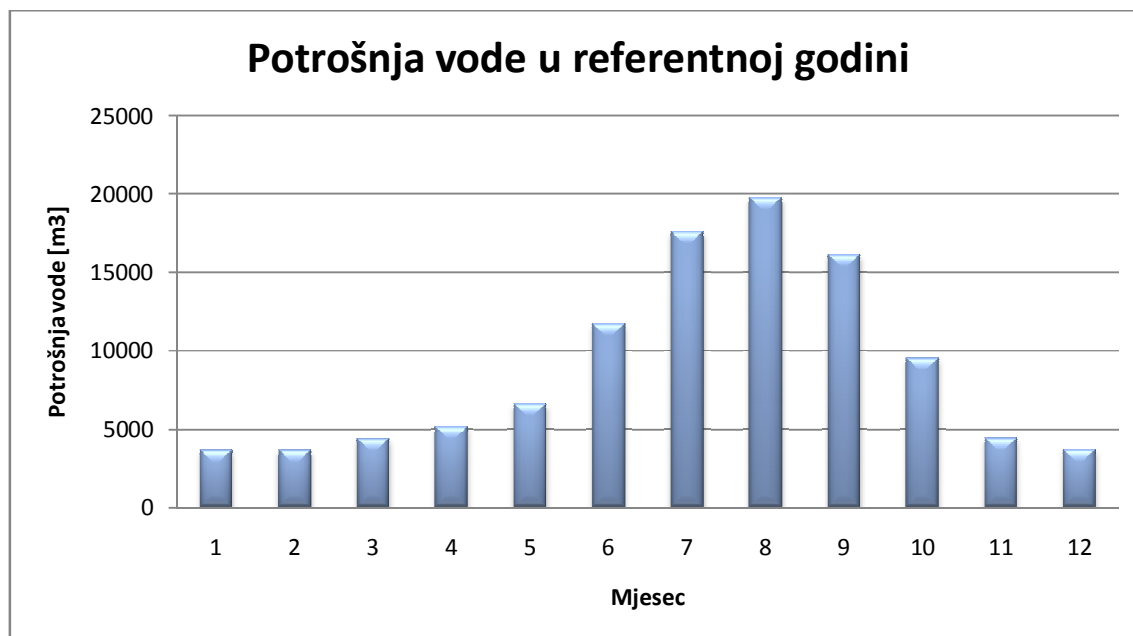
Utjecaj na okoliš	Težinski faktor	Kriterij
Staklenički plinovi	2,5	podizanje temperature za 0,1 ° C svakih 10 godina, 5 %-tno propadanje ekosustava
Uništavanje ozonskog omotača	100	mogućnost 1 smrtnog slučaja na 1 milion stanovnika
Acidifikacija	10	5 %-tno propadanje ekosustava
Eutrofikacija	5	Rijeke i jezera, 5 %-tno propadanje ekosustava
Ljetni smog	2,5	Pojavljivanje smoga, zdravstvenih tegoba, posebno kod astmatičara i starije populacije
Zimski smog	5	Pojavljivanje smoga, zdravstvenih tegoba, posebno kod astmatičara i starije populacije
Pesticidi	25	5 %-tno propadanje ekosustava
Teški metali u zraku	5	Smanjenje životnog vijeka
Teški metali u vodi	5	Kadmijevi spojevi u rijekama
Kancerogene tvari	10	mogućnost 1 smrtnog slučaja na 1 milion stanovnika

## 4. Analiza stanja

Prema podacima dobijenim od Komunalca Lastovo profil potrošnje pitke vode kroz 2007., 2008. i 2009. je sljedeći:

- 2007. - 126860 m<sup>3</sup>
- 2008. - 100000 m<sup>3</sup>
- 2009. - 70000 m<sup>3</sup> (zaključno s 9. mjesecom)

Na osnovu tih podataka određena je referentna potrošnja od 110000 m<sup>3</sup>/god. prema kojoj je izrađena investicijska i ekološka analiza za sva četiri slučaja. Prema tom podatku potrošnja vode po satu iznosi 12 m<sup>3</sup>. U slučaju Lastova gdje se broj stanovnika kroz pojedini mjesec mijenja pa tako varira od 800 do 2500 (u ljetnim mjesecima) potreban nam je i profil mjesečne potrošnje za točniju analizu. Profil mjesečne potrošnje je prikazan na Slika. 3.

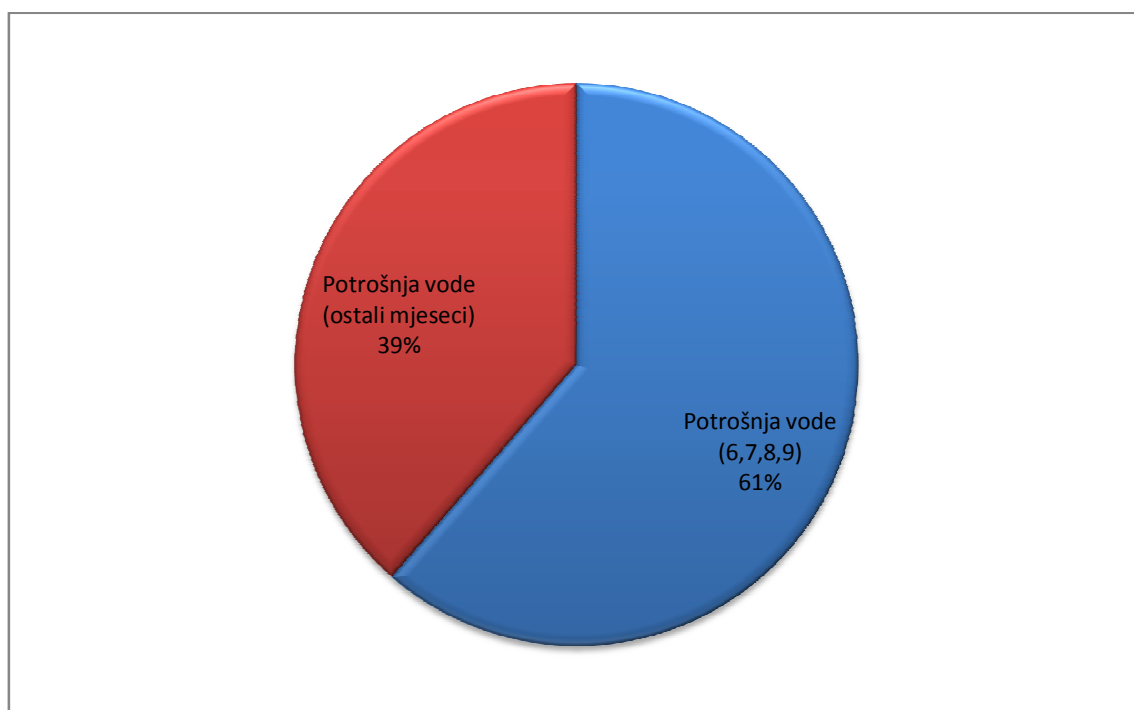


Slika 3. Profil mjesečne potrošnje vode



Kao što se može iščitati iz dijagrama potrošnja vode za pojedini mjesec varira od 4000 m<sup>3</sup> (11, 1 mj.) do 20000 m<sup>3</sup> (8. mjesec). Ovakva razlika u potrošnji se javlja zbog velikog priljeva stanovništva tijekom ljetnih mjeseci. Referentni podatak za daljnji izračun će biti najnepovoljniji slučaj od 18 m<sup>3</sup>/h prema kojem će se modelirati postrojenja za reverznu osmozu bočate i morske vode i podmorski vodovod.

Kolika je razlika u potrošnji u ljetnim mjesecima može se vidjeti na Slici 4 koja nam pokazuje da čak 61% potrošnje vode otpada na potrošnju vode u ljetnim mjesecima.



Slika 4 .Odnos potrošnje vode između ljetnih mjeseci i ostatka godine

## 5. Postrojenje za desalinizaciju morske vode

### 5.1. Opis postrojenja za desalinizaciju morske vode [5,6]

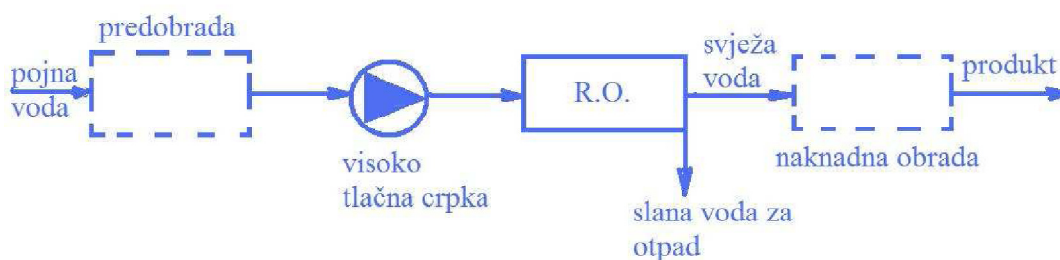
Postrojenje za desalinizaciju morske vode gradi se na područjima gdje postoji nestašica pitke vode. Postoji nekoliko mogućnosti desalinizacije morske vode, a u našem slučaju odabran je sustav koji radi na principu reverzne osmoze. Ovaj princip desalinizacije se primjenjuje tamo gdje postoji dobra infrastruktura i kontinuirana opskrba električnom energijom.

Dok kod normalne osmoze voda prolazi kroz polupropusnu membranu u smjeru prema otopini i stvara osmotski tlak, kod procesa reverzne osmoze se treba čista voda istisnuti iz otopine tj. slane vode primjenom povišenog tlaka. Poteškoće nastaju zbog vrlo velikih potrebnih tlakova i membrana koje te tlakove moraju izdržati. Održavanje ravnoteže između čiste vode s jedne strane membrane i morske vode s druge strane membrane zahtjeva tlak od 22 bar. Za 50 %-tnu koncentraciju soli u morskoj vodi potreban je tlak od 46 bar, a za 80 %-tnu koncentraciju tlak od 100 bar.

Prednost ovog postupka u odnosu na ostale postupke je manji utrošak energije (za 2 do 3 puta).

Može se izvoditi i na obalnim vodama obzirom da ova metoda daje dovoljnu sigurnost za odstranjivanje opasnih tvari, kao što su teške kovine.

Osnovni dijagram sustava za reverznu osmozu može se prikazati na sljedeći način:



Slika 5. Osnovni dijagram sustava za reverznu osmozu

U ovisnosti o zahtjevima za količinom i kvalitetom dobivene vode može se kombinirati više ovakvih sekcija paralelno ili u seriju. Granični uvjeti (obzirom na potrošnju) trebaju biti definirani. Proračuni procesa su danas u velikoj mjeri kompjuterizirani što rezultira točnijim i pouzdanijim predviđanjima procesa.

U ovom slučaju za modeliranje procesa je korišten programski paket ROSA 6.1 čiji će rezultati biti navedeni u nastavku.

Za optimalan rad jednog ovakvog postrojenja postoje određeni preduvjeti:

- Temperatura vode:

Snižavanjem temperature vode ispod 15 °C povećava se viskoznost vode i obrnuto. Kod manje viskoznosti manji je pad tlaka pri prolazu kroz membranu, čime je omogućen bolji rad naprava. Prosječna temperatura vode je oko 20 °C.

- Prethodno pročišćavanje:

Membrane su sastavljene od sitnih i osjetljivih vlakana te ih treba zaštititi od:

- grubljih nečistoća i mehaničkih onečišćenja :

Odstranjuju se finim filterom koji se mora uvijek ugraditi pred napravu

- karbonatne tvrdoće :

Regulira se ionskim izmjenjivačima ili doziranjem kiseline smanjujemo pH vode.

- utjecaja klora.

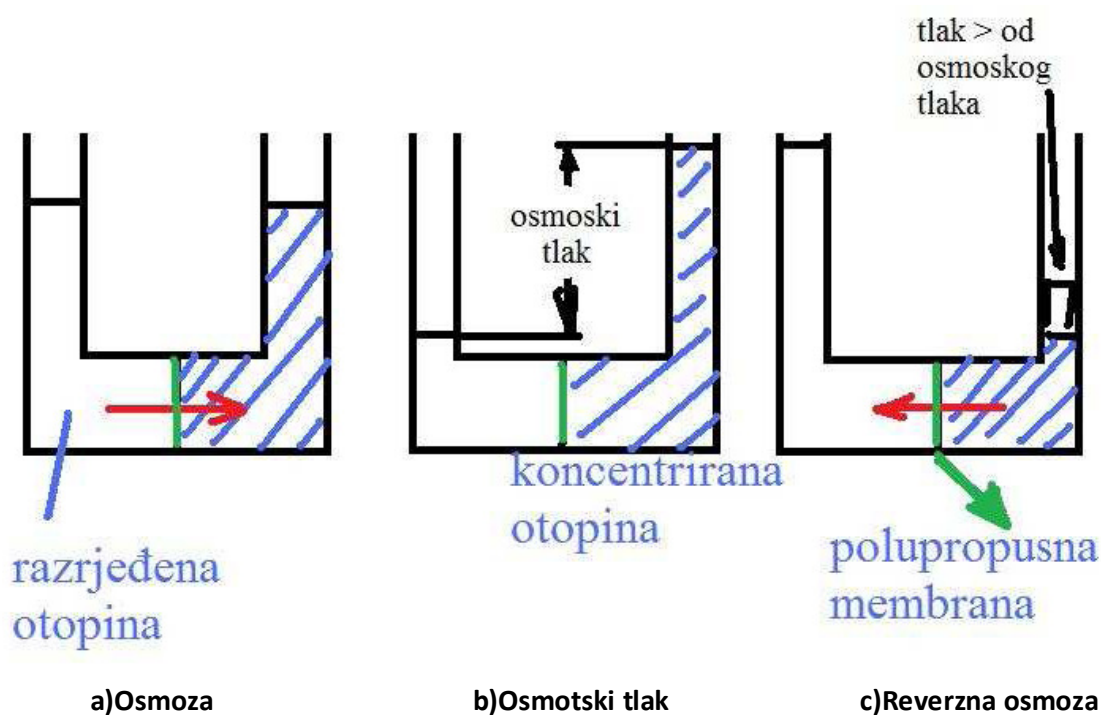
Obrada vode nako R.O. :

U nekim slučajevima potrebna je voda u kojoj je količina soli niža 5% u usporedbi s napojnom vodom. Takvu kvalitetu postignemo ponovnom obradom preko R.O. sekcija ili filtriranjem preko miješanih ionskih izmjenjivača.

Potrebno je povećati alkalitet (podešavanje pH 7.8) i kalcijevu tvrdoću dobivene vode na 100-110 mg CaO/l da bi voda zadovoljavala standarde za pitku vodu.

Princip djelovanja reverzne osmoze :

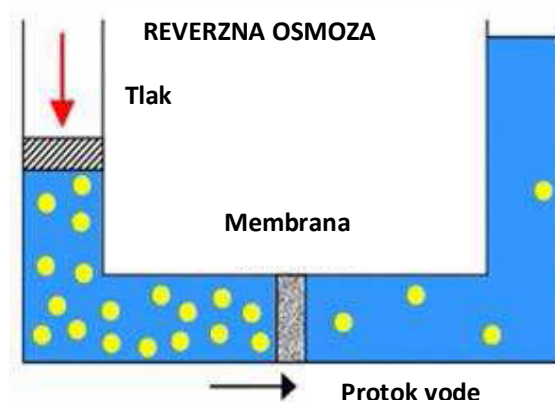
Kada se razdvajaju dvije kapljevine različitih koncentracija (npr. čistu vodu bez soli i solnu otopinu) kroz polupropusnu membranu koja propušta otapalo (npr. vodu), a ne propušta otopljene minerale, prolazi samo čista voda u otopinu soli.



Slika 6. Shematski prikaz osmoze i reverzne osmoze

Otopina soli se razrijedi, a volumen solne otopine se poveća i njezin nivo digne iznad nivoa čiste vode. Zbog toga dolazi do razlike u tlakovima što se naziva osmotski tlak.

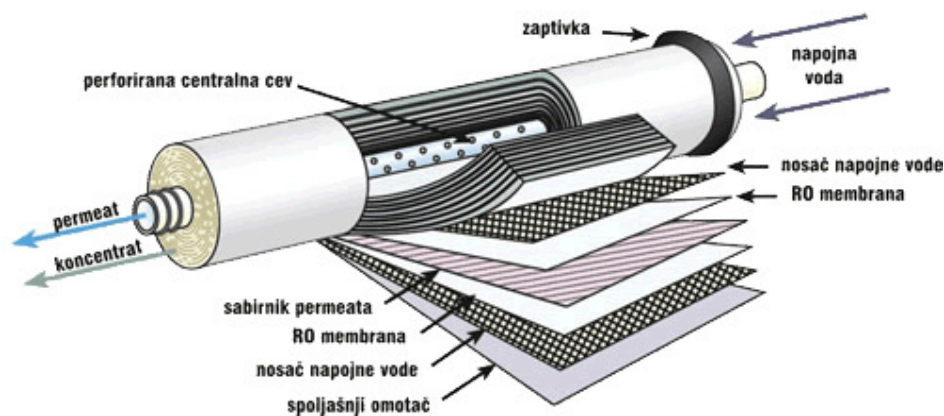
Ovaj proces se može izvesti i u obrnutom smjeru tj. kada se na otopinu soli djeluje tlakom višim od osmotskog iz otopine soli kroz polupropusnu membranu prolazi čista voda.



Slika 7. Princip reverzne osmoze

**Reverzna osmoza** je dakle, postupak odvajanja otopljenih tvari (minerala) od otapala (vode).

Ovaj postupak izvodi se pomoću posebnih vrsta polupropusnih membrana sastavljenih od tankih vlakana. Za njihovu izradu upotrebljavaju se celulozni acetat ili poliamid. Takve membrane ugrađene su u čvrste i na visoke tlakove otporne cijevi od poliestera koje u praksi nazivamo modulima (Slika 7.).



Slika 8. Presjek modula

Napojna voda prolaskom kroz modul se odvaja na dva toka:

- PERMEAT i
- KONCENTRAT.

PREMEAT je desalinizirana voda koja prolazi kroz membranske elemente te odlazi cjevovodom bez tlaka do izlaza potrošača.

KONCENTRAT je slana, tj. obogaćena voda koja nakon obrade kroz membranske module odlazi cjevovodom prema izlazu.

Na skup ovakvih modula pod povišenim tlakom usmjerena je morska voda.

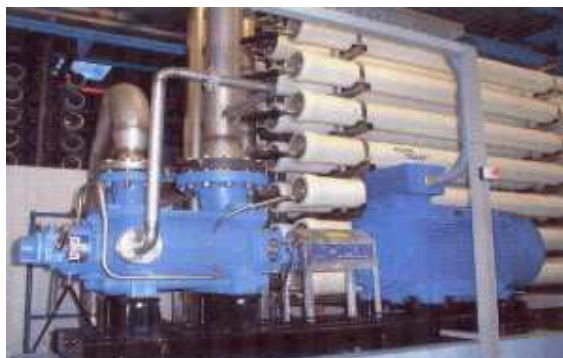


**Slika 9. RO moduli u postrojenju za desalinizaciju**



**Slika 10. RO moduli u postrojenju za desalinizaciju**

Postupkom reverzne osmoze postiže se efekat desalinizacije cca. 98 – 99%.



**Slika 11. Primjer postrojenja u Mas Palomas, Španjolska (1300 m<sup>3</sup>/dan)**

## 5.2. Modeliranje postrojenja

Prema ulaznim parametrima i potrebama za pitkom vodom izvršeno je modeliranje sustava za reverznu osmozu morske vode u programskom paketu ROSA 6.1.

Ulazni podaci:

- Potrebna količina pitke vode  $18 \text{ m}^3/\text{h}$

Kao ulazni podatak od  $18 \text{ m}^3/\text{h}$  je uzet najnepovoljniji slučaj u 9.mjesecu kada potrošnja pitke vode doseže svoj maksimum.

- Količina otopljenih tvari : 35000 ppm

Ovaj podatak je dobijen na Zavodu za vodu, gorivo i mazivo, Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

- Broj modula u pojedinim fazama

Ovaj podatak se određuje modeliranjem sustava u programskom paketu ROSA 6.1 metodom pokušaja i pogreški tako da nam maksimalni tlak u sustavu ne prelazi granične vrijednosti.

Nakon provedenog modeliranja za ovaj slučaj dobili smo potrebni broj modula u postrojenju za reverznu osmozu morske vode.

### **Rezultat:**

Za ovaj slučaj potrebno je 46 modula kako bi dobili  $18 \text{ m}^3/\text{h}$  pitke vode. Rezultat programskog paketa ROSA 6.1 je prikazan u Prilogu 1. Lastovo-morska voda.



### 5.3. Investicijska studija

U investicijskoj studiji su obuhvaćeni kapitalni (izgradnja postrojenja za reverznu osmozu) i tekući troškovi (utrošak kemikalija, električna energija potrebna za pogon pumpi,..)

Kako je već u programskom alatu određeno u kapitalni trošak nam ulazi broj modula potreban za rad postrojenja. Programskim paketom ROSA 6.1 dobili smo rezultat od 46 potrebnih modula.

Cijena jednog modula iznosi cca. 6000 kn pa tako dobivamo cijenu od 276.000 kn.

Osim kupovine modula potrebno je i izvesti radove postavljanja tih modula, ukopa cijevi, izrade spremnika, izgradnje infrastrukturnih objekata ...

Za ovaj broj modula prema iskustvenim podacima procijenjena je investicija za cijeli sustav i ona iznosi cca. 5.000.000 kn.

Time dobivamo kapitalnu investiciju od 5.000.000 kn.

Tekući troškovi:

Utrošak kemikalija potrebnih za pravilan rad sustava i odgovarajuću kvalitetu vode iznosi:

Antiscalant NALCO PC 191 5.6 g/m<sup>3</sup>\_pitke vode.....0.336 kn/m<sup>3</sup>\_pitke vode

Ca(OH)<sub>2</sub> 80 g/m<sup>3</sup>\_pitke vode ..... 0.32 kn/m<sup>3</sup>\_pitke vode

NaClO 0.6 g/m<sup>3</sup>\_pitke vode ..... 0.0012 kn/m<sup>3</sup>\_pitke vode

Cijene navedenih kemikalija prema kojima su proračunate potrošnje po kubiku pitke vode dobivene su na Zavodu Voda, gorivo i mazivo, Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu i one iznose:

Antiscalant NALCO PC 191 5.6 - 60 kn/kg

Ca(OH)<sub>2</sub> - 4kn/kg

NaClO - 2 kn/kg

Potrošnja električne energije za pogon pumpi:

6.05 kWh/m<sup>3</sup>\_pitke vode ..... 2.024 kn/m<sup>3</sup>\_pitke vode

Cijena energije određena je prema crvenom tarifnom modelu HEP-a koja iznosi:

VT : 0.52 kn/kWh

NT : 0.26 kn/kWh

Postrojenje za desalinizaciju radi 24 h tako da je uzeta srednja vrijednost cijene električne energije, a ona iznosi 0.40 kn/kWh.

Uz ove troškove potrebno je i dodati troškove amortizacije, održavanja i davanja državi koji su navedeni u nastavku:

Troškovi amortizacije i održavanja – 4.5 kn/m<sup>3</sup> pitke vode (ovo je procijenjena vrijednost)

Davanje državi:

Naknada za korištenje voda – 0.8 kn/m<sup>3</sup>

Naknada za zaštitu voda - 0.9 kn/m<sup>3</sup>

Zbrojem svih tekućih troškova dobijamo iznos od **9.2772 kn/m<sup>3</sup>\_pitke vode**.

## 5.4. Studija utjecaja na okoliš

U ovoj studiji utjecaj na okoliš određen je po principu LCA metodologije koja je objašnjena u 3 poglavlju. Ukratko, prema toj metodologiji se obuhvaćaju svi aspekti djelovanja nekog materijala ili procesa na životnu sredinu od proizvodnje, transporta, ....

Kako bi za točne podatke ručnom metodom proračuna bili potrebni mjeseci istraživanja i tim ljudi za proračun je korišten programski paket SimaPro koji radi na principu LCA metodologije.

U ovom programu je potrebno zadati proces razložiti na njegovi bitne značajke: materijale i procese prema kojima se kasnije dobijaju utjecaji na okoliš.

U ovom konkretnom slučaju proces desalinizacije je razloženo na nekoliko bitnih dijelova, a to su: desalinizacijsko postrojenje, opskrba električnom energijom i opskrba pitkom vodom.

U svakom od procesa potrebno je definirati materijale i procese koji omogućavaju pravilan rad tog procesa.

Da bismo odredili materijale koji su potrebni za konstrukciju desalinizacijskog postrojenja poslužili smo se referentnim postrojenjem prema kojem smo na temelju iskustvenih podataka odredili njihove količine.

**Tabela 2. Materijali za RO postrojenje**

Materijal	Naše postrojenje	Referentno postrojenje
Beton	639397,6308	5993000
Čelik	48565,62682	455200

$$C = 18000 \text{ m}^3/\text{dan}$$

$$C_{\text{naše}} = 432 \text{ m}^3/\text{dan}$$

$$K = (C_{\text{naše}}/C)^{0.6}$$

$$m_{\text{čelika}} = 455200 \times K = 48565,63 \text{ kg}$$

$$m_{\text{betona}} = 5993000 \times K = 639397,63 \text{ kg}$$

Također je prema veličini našeg postrojenja, na isti način, proračunata količina kemikalija za navedeni proces.

**Tabela 3. Kemikalije za RO postrojenje**

<b>Kemikalije</b>	<b>Naše postrojenje (za 20 godina)</b>	<b>Referentno postrojenje (za 1 godinu)</b>
Sumporna kiselina	265623,3165	553381,9094

$$m_{\text{sumporna kiselina}} = 20 \cdot C_{\text{naše/C}} \cdot 553382$$

$$m_{\text{sumporna kiselina}} = 265623,3165 \text{ kg}$$

U ovom slučaju je umjesto antiscalanta za obradu vode uzeta sumporna kiselina jer za nju postoje podaci u bazi podataka, a pošto su ekološki utjecaji tih dviju tvari vrlo slični sumporna kiselina može zamijeniti antiscalant u analizi utjecaja na okoliš.

Za ovaj proces uzeta je sumporna kiselina – Sulphuric acid, liquid, at plant/RER S iz baze Ecoinvent.

Proces desalinizacije uključuje predobradu, reverznu osmozu i postobradu, a kako je proces predobrade i postobrade vrlo sličan procesu dobave pitke vode koji se nalazi u SimaPro za ovaj slučaj je uzet taj proces – Tap water, at user/RER S, u Ecoinvent bazi.

Transport vode od mora do desalinizacijskog postrojenja također nije posebno razložen jer u proces opskrbe pitkom vodom sadrži parametre potrošnje energije i utjecaja na okoliš u sebi tako da je on uzet kao zamjena.

Transport vode od postrojenja do potrošača je jedna od bitnijih stavki, ali u ovom slučaju nije uzeta u obzir jer je za sva četiri slučaja određena granica sustava do cjevovoda prema potrošačima. To znači da nam za uporedbu ova četiri slučaja nije potreban taj podatak jer u svakom slučaju voda mora biti dostavljena do potrošača pa bi nam se taj dio nepotrebno ponavljao i ne bi imao utjecaja na krajnji rezultat.

Za potrebnu energiju potrebno je odrediti izvor energije i količinu energije potrebnu za rad našeg postrojenja.

Otok Lastovo uključen je u državnu elektroenergetsku mrežu preko dalekovoda DV 110kV HE „Zakućac“. Kako za električnu energiju iz HE „Zakućac“ nema podataka u bazam programa SimaPro uzeti su podaci za električnu energiju iz hidroelektrane sa područja bivše Jugoslavije – Electricity hydropower in Ex-Ju S iz baze ETH-ESU 96.

Podatak o potrošnji električne energije u životnom vijeku od 20 godina je izračunat je iz potrošnje po  $\text{m}^3$  pitke vode koji iznosi 6.05 kWh. Taj podatak je dobijen zbrojem vrijednosti dobijenih iz programa ROSA 6.1 gdje je određena snaga potrebna za pogon visokotlačne pumpe koja potiskuje morsku vodu kroz membrane, snage pumpe za dobavu morske vode i pumpi za doziranje kemikalija i filtriranje (svladavanje tlaka kroz filtere).

Za visokotlačnu pumpu dobijen je podatak o potrošnji koja iznosi  $4.8 \text{ kW/m}^3$  pitke vode.

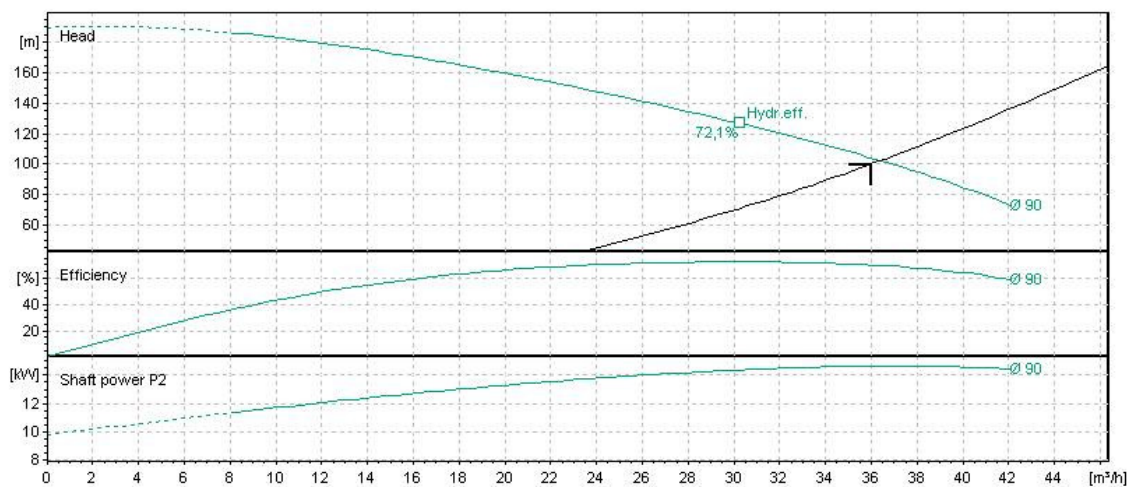
Pumpa za dobavu morske vode odabrana je prema protoku i visini dobave u internet aplikaciji za odabir pumpi tvrtke Wilo za prouzvodnju pumpi.

Vrijednosti za odabir pumpe:

Protok:  $Q = 36 \text{ m}^3/\text{h}$

Visina dobave:  $H = 100 \text{ m}$

Prema tim ulaznim podacima odabrana je pumpa Wilo TWI 6.30-17-B, snage 14.6 kW, čija je radna točka prikazana u dijagramu na slici



Slika 12. Radna točka pumpe

Za dozirne pumpe i pumpu za filtraciju prema iskustvenim podacima tvrtke Feller za protok od  $36 \text{ m}^3/\text{h}$  dobili smo podatak o snazi pumpe od 4 kW.

Zbrojem snaga dobavne pumpe, dozirnih pumpi i pumpe za filtraciju dobijamo vrijednost 18.6 kW što za protok od  $18 \text{ m}^3/\text{h}$  pitke vode znači da nam potrošnja iznosi  $1.03 \text{ kWh}/\text{m}^3$  pitke vode.

Podatak o ukupnoj potrošnji električne energije po kubiku pitke vode dobijamo zbrajanjem svih potrošnji energije što onda iznosi 6.05 kWh.

6.05 kWh – potrošnja električne energije po  $\text{m}^3$  pitke vode

$110000 \text{ m}^3$  – potrošnja vode u referentnoj godini

20 godina – životni vijek

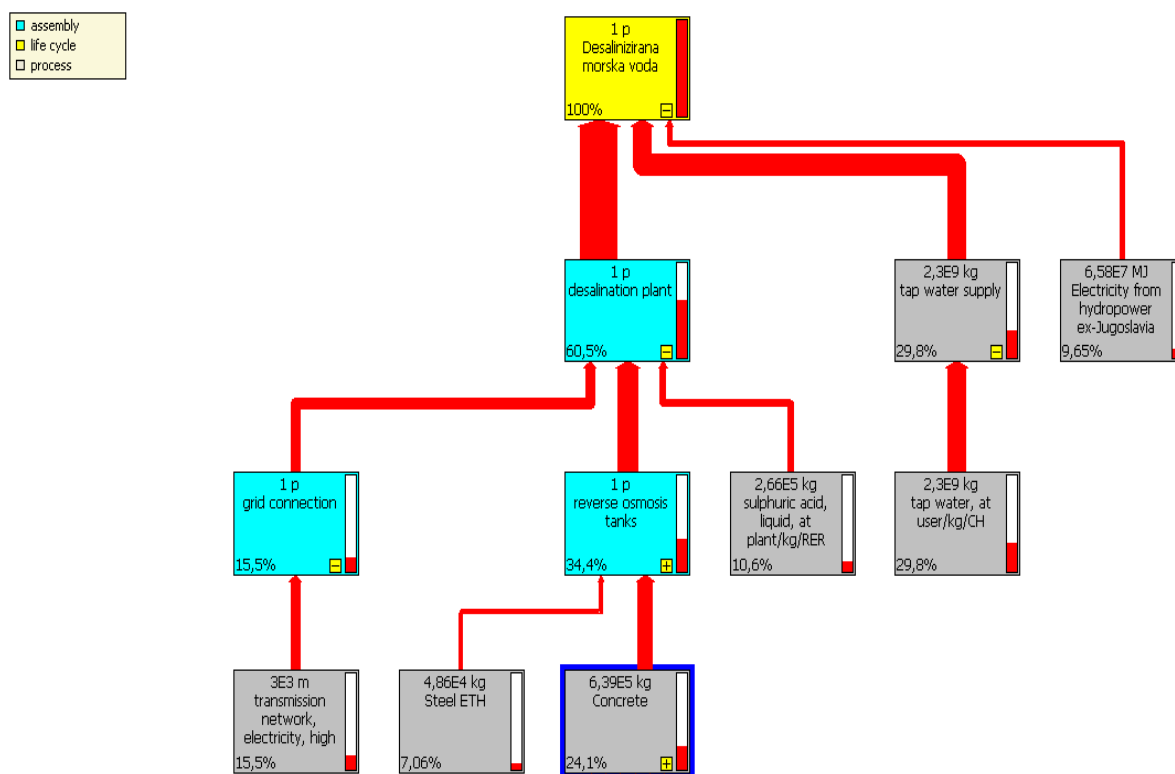
$$W_{\text{p.v.}} = 6.05 * 110000 * 20 = 12760000 \text{ kWh}$$

$$W_g = k_{\text{el}} * W_{\text{p.v.}} = 14418800 \text{ kWh}$$

$W_{\text{p.v.}}$  – energija potrebna za desalinizaciju kroz životni vijek od 20 godina

$k_{\text{el}} = 1,13$  – dodatak zbog gubitaka u mreži

Nakon što smo prikupili sve podatke trebamo napraviti „stablo“ navedenog procesa. Tu trebamo definirati sve odnose pojedinih materijala i procesa u navedenom slučaju. Kako to izgleda može se vidjeti na slici 13.



Slika 13. „Stablo“ postrojenja za desalinizaciju

**Legenda sustava:**

Desalination plant – sustav za desalinizaciju

Reverse osmosis tanks – spremnici za reverznu osmozu

Sulphuric acid – sumporna kiselina

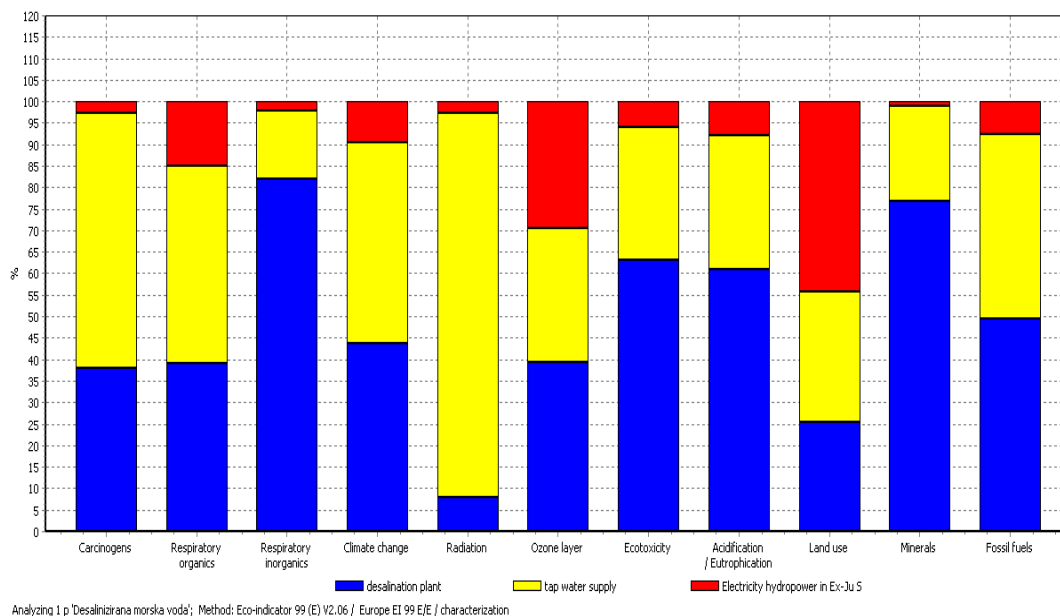
Grid connection – priključak na električnu mrežu

Transmission network electriciti – vodovi električne mreže

Tap water – pitka voda iz vodovoda

Electricity from hydropower Ex-Jugoslavia – el.energija iz hidroelektrane na području bivše Jugoslavije

Prema ovom „stablu“ i svim navedenim odnosima, potrošnjama i količinama u njemu program SimaPro proračunava prema LCA metodologiji utjecaje na okoliš.



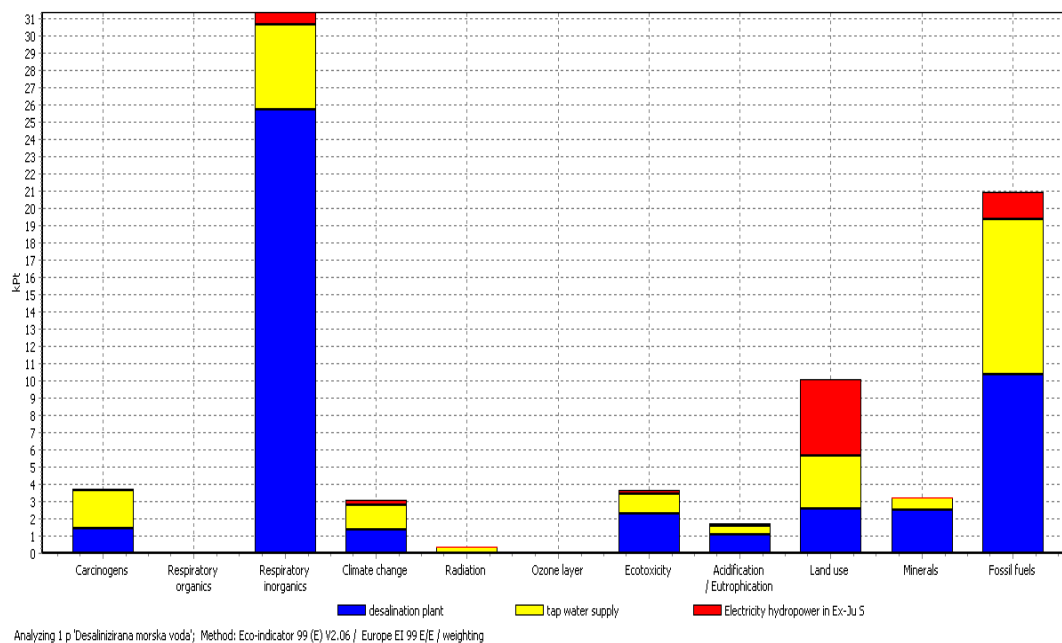
**Slika 14. Karakterizacija utjecaja na okoliš**

U dijagramu na slici 14. prikazani su utjecaji na okoliš u postocima glavnih dijelova ovog procesa.

Iz dijagrama tako možemo iščitati da se najviše fosilnih goriva troši u desalinizacijskom postrojenju, dok najveći utjecaj na klimatske promjena ima opskrba pitkom vodom u kojoj su sadržani predobrada i postobrada pitke vode kemikalijama kako je već ranije navedeno.

Osim toga može se iščitati i utjecaj kancerogenih tvari, utjecaj na dišni sustav, na ozonski omotač, ....





Slika 15. Težinski faktor

U sljedećem dijagramu na slici 15. Prikazana je težinski faktor utjecaja na okoliš, što znači da je svakom od utjecaja dodijeljen broj bodova prema njihovom utjecaju na okoliš i žive organizme.

To su eko bodovi (Eco points) koji se nekom procesu dodjeljuju prema opasnosti i štetnosti koju taj proces posjeduje.

U ovom dijagramu su oni navedeni kao kPt (kilo-points).

U ovom slučaju, kako se vidi iz dijagrama najveći utjecaj na okoliš i žive organizme ima iskorištavanje fosilnih goriva (potrošnja) i anorganske tvari koje utječu na dišni sustav.

Kako će se ova dva dijagrama ponavljati i u ostalim procesima ovdje ću staviti legendu za oba dijagrama:

**Legenda :**

**Carcinogens - Kancerogeni**

**Respiratory organics – Organske tvari koje utječu na dišne organe**

**Respiratory inorganics - Anorganske tvari koje utječu na dišne organe**

**Climate change – Klimatske promjene**

**Radiation - Zračenje**

**Ozone layer – Ozonski omotač**

**Ecotoxicity – Eko toksičnost**

**Acidification / Eutrophication – Acidifikacija / Eutrofikacija**

**Land use – Korištenje tla**

**Minerals - Minerali**

**Fossil fuels – Fosilna goriva**

## **6. Postrojenje za desalinizaciju bočate vode**

Ovaj sustav je potpuno isti kao i sustav za desalinizaciju morske vode osim razlike u broju modula i potrošnji električne energije i kemikalija tako da sve navedeno u opisu postrojenja za desalinizaciju morske vode vrijedi i za ovaj slučaj.

Navedene razlike biti će uzete u obzir kod modeliranja postrojenja za obradu bočate vode, a s tim podacima će se ići dalje u izradu investicijske studije i studije utjecaja na okoliš.

## 6.1. Modeliranje postrojenja za obradu bočate vode

Prema ulaznim parametrima i potrebama za pitkom vodom izvršeno je modeliranje sustava za reverznu osmozu pitke vode u software ROSA 6.1.

Ulazni podaci:

- Potrebna količina pitke vode  $18 \text{ m}^3/\text{h}$

Kao ulazni podatak od  $18 \text{ m}^3/\text{h}$  je uzet najnepovoljniji slučaj u 9.mjesecu kada potrošnja pitke vode doseže svoj maksimum.

- Količina otopljenih tvari : 3000 ppm

Ovaj podatak je dobijen za bočatu vodu na lokaciji Prgovo polje.

- Broj modula u pojedinim fazama

Ovaj podatak se određuje metodom pokušaja i pogreški tako da nam maksimalni tlak u sustavu ne prelazi granične vrijednosti.

Nakon provedenog modeliranja za ovaj slučaj dobili smo potrebni broj modula u postrojenju za reverznu osmozu morske vode.

### **Rezultat:**

Za ovaj slučaj potreban je 23 modula kako bi dobili  $18 \text{ m}^3/\text{h}$  pitke vode.

## 6.2. Investicijska studija

U investicijskoj studiji su obuhvaćeni kapitalni (izgradnja postrojenja za reverznu osmozu) i tekući troškovi (utrošak kemikalija, električna energija potrebna za pogon pumpi,...).

Kako je već u programskom alatu određeno u kapitalni trošak nam ulazi broj modula potreban za rad postrojenja. Programskim paketom ROSA 6.1 dobili smo rezultat od 23 potrebna modula.

Cijena jednog modula iznosi cca. 6000 kn pa tako dobivamo cijenu od 78.000 kn.

Osim kupovine modula potrebno je i izvesti radove postavljanja tih modula, ukopa cijevi, izrade spremnika, izgradnje infrastrukturnih objekata, ...

Za ovakvo postrojenje i potreban broj modula cjelokupna investicija je prema iskustvenim podacima procijenjena na cca. 3.000.000 kn.

Time dobivamo kapitalnu investiciju od 3.000.000 kn.

Tekući troškovi:

Utrošak kemikalija potrebnih za pravilan rad sustava i odgovarajuću kvalitetu vode iznosi:

Antiscalant NALCO PC 191 3.73 g/m<sup>3</sup>\_pitke vode.....0.2238 kn/m<sup>3</sup>\_pitke vode

Ca(OH)<sub>2</sub> 80 g/m<sup>3</sup>\_pitke vode ..... 0.32 kn/m<sup>3</sup>\_pitke vode

NaClO 0.4 g/m<sup>3</sup>\_pitke vode ..... 0.0008 kn/m<sup>3</sup>\_pitke vode

Cijene navedenih kemikalija prema kojima su proračunate potrošnje po kubiku pitke vode dobivene su na Zavodu Voda, gorivo i mazivo, Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu i one iznose:

Antiscalant NALCO PC 191 5.6 - 60 kn/kg

Ca(OH)<sub>2</sub> - 4kn/kg

NaClO - 2 kn/kg

Potrošnja električne energije za pogon pumpi:

1.54 kWh/m<sup>3</sup>\_pitke vode ..... 0.616 kn/m<sup>3</sup>\_pitke vode

Cijena energije određena je prema crvenom tarifnom modelu HEP-a koja iznosi:

VT : 0.52 kn/kWh

NT : 0.26 kn/kWh

Postrojenje za desalinizaciju radi 24 h tako da je uzeta srednja vrijednost cijene električne energije, a ona iznosi 0.40 kn/kWh.

Uz ove troškove potrebno je i dodati troškove amortizacije, održavanja i davanja državi koji su navedeni u nastavku:

Troškovi amortizacije i održavanja – 3.5 kn/m<sup>3</sup> pitke vode (ovo je procijenjena vrijednost)

Davanje državi:

Naknada za korištenje voda – 0.8 kn/m<sup>3</sup>

Naknada za zaštitu voda - 0.9 kn/m<sup>3</sup>

Zbrojem svih tekućih troškova dobijamo iznos od **6.3606 kn/m<sup>3</sup>\_pitke vode**.

### 6.3. Studija utjecaja na okoliš

Ovaj sustav je vrlo sličan sustavu za desalinizaciju morke vode tako da će potrebni parametri biti preuzeti iz poglavlja 5.4. u kojem su detaljnije pojašnjeni.

Kako se radi o istoj količini potrebne pitke vode neki podaci će ostati isti, dok će neki biti prilagođeni ovom postrojenju.

Potrošnja betona i čelika potrebna za izgradnju spremnika je ista za oba slučaja jer je ista potrošnja pitke voda tako da je ta tablica preuzeta iz poglavlja 5.4. u kojem je pojašnjeno kako se došlo do tih podataka.

**Tabela 4. Materijali za RO postrojenje**

<b>Materijal</b>	<b>Naše postrojenje</b>	<b>Referentno postrojenje</b>
Beton	639397,6308	5993000
Čelik	48565,62682	455200

Sljedeća stvar koja nam je potrebna je potrošnja sumporne kiseline koja je prilagođena sustavu za desalinizaciju bočate vode.

Dotok bočate vode je manji od dotoka morske vode tako da je i potrebno manje sumporne kiseline.

Protok bočate vode je 24 m<sup>3</sup>/h, a morske vode 36 m<sup>3</sup>/h tako da je potrebno smanjiti količinu sumporne kiseline.

**Tabela 4. Materijali za RO postrojenje**

<b>Kemikalije</b>	<b>Postrojenje za desalinizaciju bočate vode (za 20 godina)</b>	<b>Postrojenje za desalinizaciju morske vode (za 20 godina)</b>
Sumporna kiselina	177082,211	265623,3165

$$V_{\text{bočata voda}} = 24 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{\text{morska voda}} = 34 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$m_{\text{sumporna kiselina}} = V_{\text{bočata voda}} / V_{\text{morska voda}} * 265623,3165$$

$$m_{\text{sumporna kiselina}} = 177082,211 \text{ kg}$$

Podatak o potrošnji električne energije u životnom vijeku od 20 godina je izračunat je iz potrošnje po  $\text{m}^3$  pitke vode koji iznosi 1.54 kWh. Taj podatak je dobijen zbrojem vrijednosti dobijenih iz programa ROSA 6.1 gdje je određena snaga potrebna za pogon visokotlačne pumpe koja potiskuje morsku vodu kroz membrane, snage pumpe za dobavu bočate vode i pumpi za doziranje kemikalija i filtriranje (svladavanje tlaka kroz filtere).

Za visokotlačnu pumpu dobijen je podatak o potrošnji, koja iznosi  $0.60 \text{ kW}/\text{m}^3$  pitke vode.

Pumpa za dobavu bočate vode odabrana je prema protoku i visini dobave u internet aplikaciji za odabir pumpi tvrtke Wilo za proizvodnju pumpi.

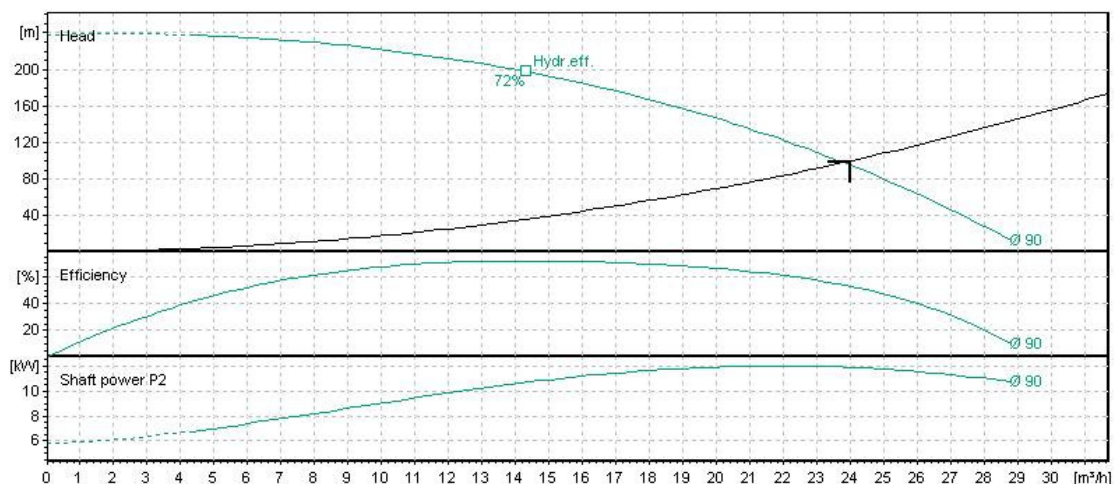
Vrijednosti za odabir pumpe:

$$\text{Protok: } Q = 24 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Visina dobave: } H = 100 \text{ m}$$

Prema tim ulaznim podacima odabrana je pumpa Wilo TWI 6.18-22-B, snage 12.6 kW, čija je radna točka prikazana u dijagramu na slici 16.





Slika 16. Radna točka pumpe

Za dozirne pumpe i pumpu za filtraciju prema iskustvenim podacima tvrtke Feller za protok od  $36 \text{ m}^3/\text{h}$  dobili smo podatak o snazi pumpe od 3.2 kW.

Zbrojem snaga dobavne pumpe, dozirnih pumpi i pumpe za filtraciju dobijamo vrijednost 15.8 kW što za protok od  $18 \text{ m}^3/\text{h}$  pitke vode znači da nam potrošnja iznosi  $0.94 \text{ kWh}/\text{m}^3$  pitke vode.

Podatak o ukupnoj potrošnji električne energije po kubiku pitke vode dobijamo zbrajanjem svih potrošnji energije što onda iznosi 1.54 kWh

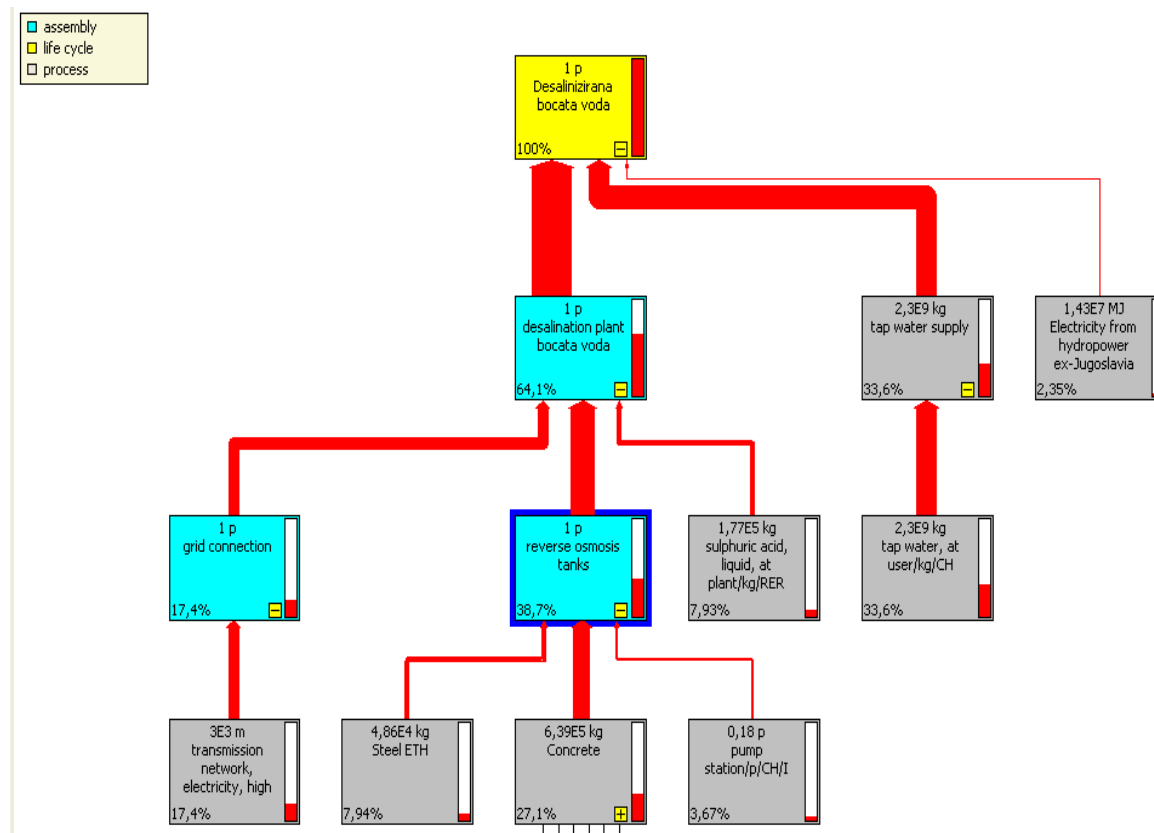
1.54 kWh – potrošnja električne energije po  $\text{m}^3$  pitke vode

$110000 \text{ m}^3$  – potrošnja vode u referentnoj godini

20 godina – životni vijek

$$W_{p.v.} = 1.54 * 110000 * 20 = 3960000 \text{ kWh}$$

Nakon što smo proračunali podatke za ovaj slučaj ubacujemo ih u program i pravima „stablo“ tog procesa koje se može vidjeti na slici 17.



Slika 17. „Stablo“ procesa desalinizacije bočate vode

## Legenda sustava:

Desalination plant – sustav za desalinizaciju

Reverse osmosis tanks – spremnici za reverznu osmozu

Sulphuric acid – sumporna kiselina

Grid connection – priključak na električnu mrežu

Transmission network electricity – vodovi električne mreže

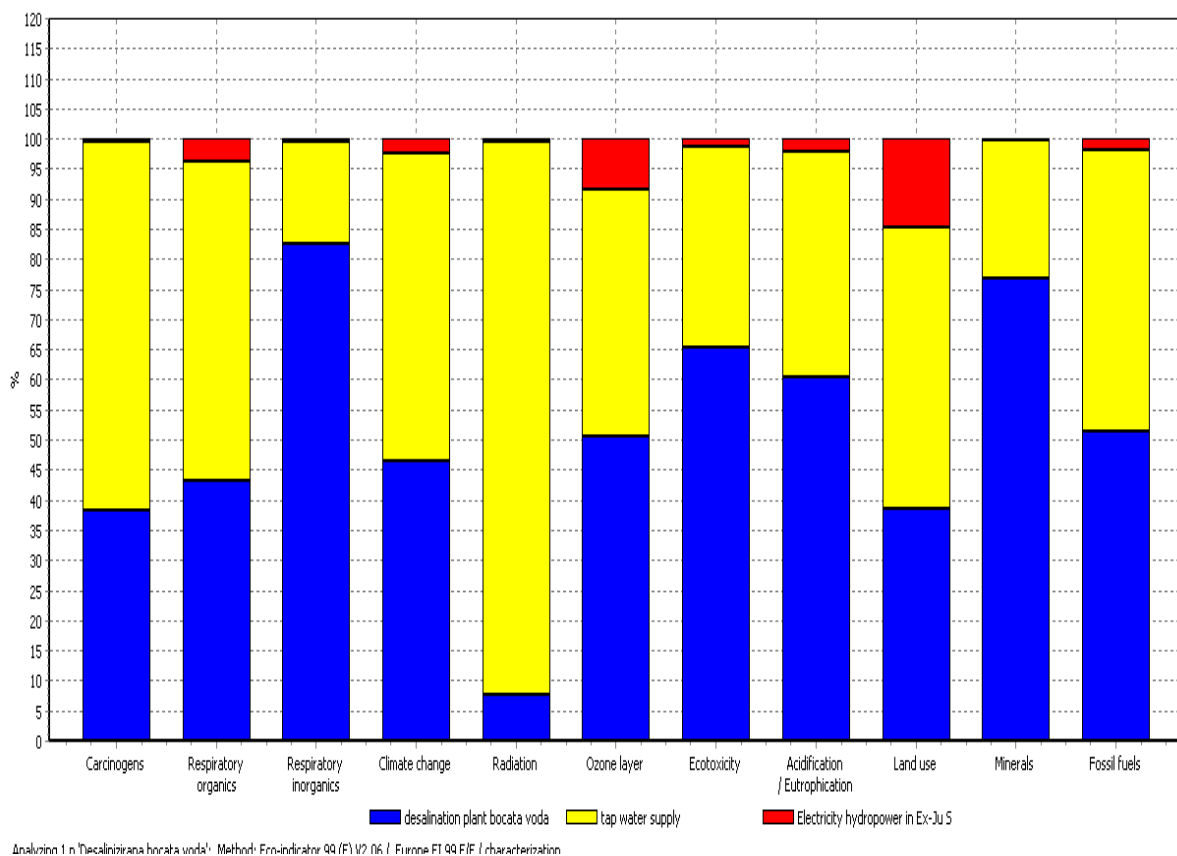
Tap water – pitka voda iz vodovoda

Electricity from hydropower Ex-Jugoslavia – el.energija iz hidroelektrane na području bivše Jugoslavije

Pump station – pumpna stanica

U ovom stablu vidimo da je raspored procesa i materijala potpuno isti kao i u stablu procesa desalinizacije morske vode, osim količina ulaznih parametara koji su proračunati ranije.

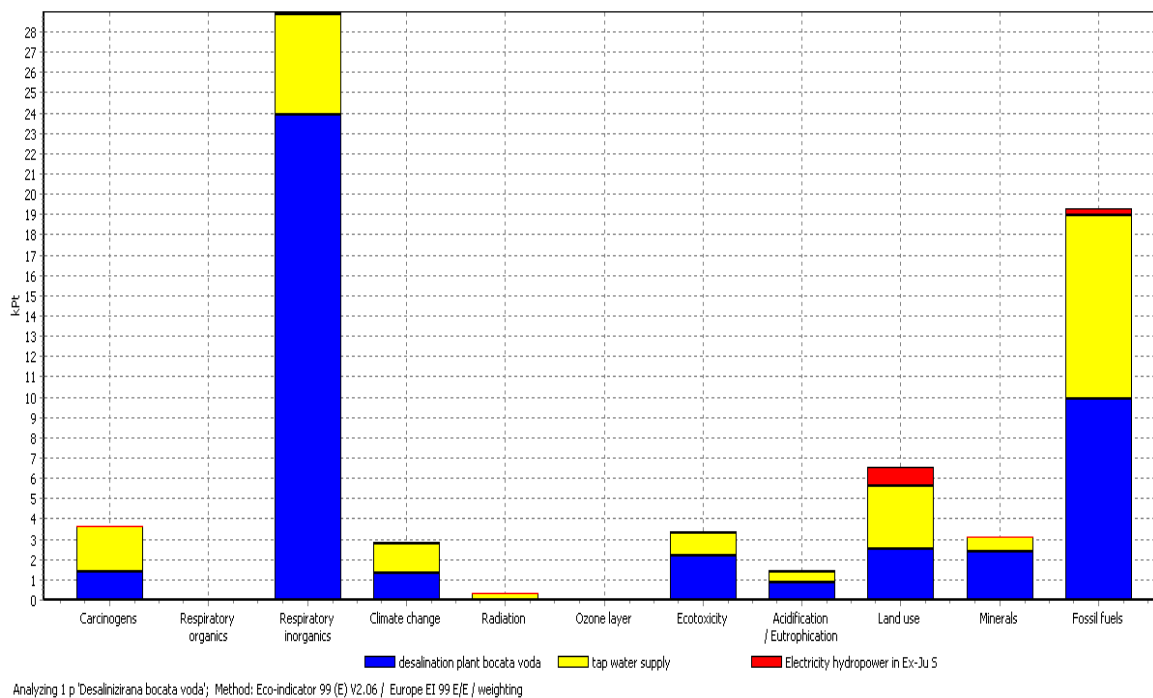
Nakon definiranja procesa dobijamo dijagrame utjecaja na okoliš za navedeni proces koji su prikazani na slikama 18 i 19.



Slika 18. Karakterizacija utjecaja na okoliš

U ovom dijagramu vidimo vrlo slične rezultate kao i prošlom sa razlikom u nekim postocima.

Kao i prošlom dijagramu za desalinizaciju morske vode najveći utjecaj na potrošnju fosilnih goriva ima desalinizacijsko postrojenje, a na kancerogene tvari najviše utječe opskrba pitkom vodom.



Slika 19. Težinski faktor

Kao i u prošlom slučaju vidimo da najveći utjecaj na okoliš i žive organizme imaju anorganske tvari koje utječu na dišne puteve. U ovom slučaju njihov utjecaj je manji, nego je to bilo kod desalinizacije morske vode zbog korištenja manjih količina kemikalija.

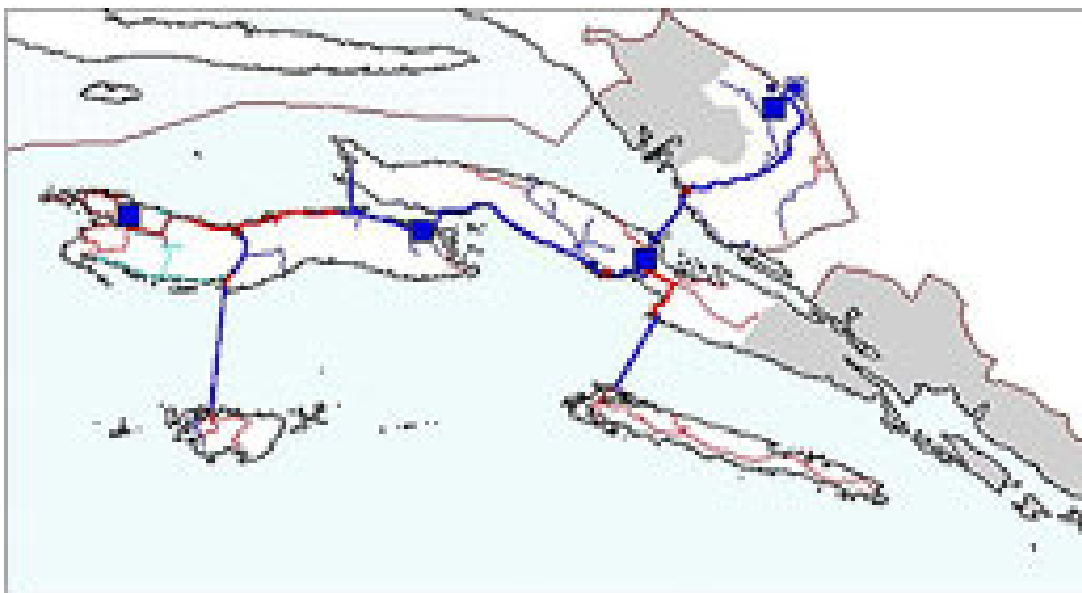
Broj bodova (kPt) koje su dobile anorganske tvari je 29 dok je kod desalinizacije morske vode bio 32.

## 7. Opskrba pitkom vodom putem podmorskog vodovoda

Za ovaj slučaj predviđena je izgradnja podmorskog vodovoda sa otoka Korčule do otoka Lastova. Njegova dužina bi bila 30 km sa priključnim cjevovodima, a sa tim podatkom se ulazilo u investicijsku i studiju utjecaja na okoliš.

Cjevovod bi se priključio na Neretvnsko-pelješko-korčulanski-lastovski cjevovod (NPKL) koji se opskrbljuje pitkom vodom sa izvorišta Prud kod Metkovića.

Kako bi taj cjevovod izgledao može se vidjeti na slici 12.



Slika 20. Prikaz cjevovoda NPKL

## 7.1. Investicijska studija

Kod investicijske studije je potrebno, kao i u prošlim slučajevima izračunati kapitalne i tekuće troškove.

U kapitalni trošak ulazi izgradnja podmorskog cjevovoda, a tekući troškovi obuhvaćaju potrošnju energije za pogon pumpi i utrošak kemikalija za obradu pitke vode.

### **Kapitalni troškovi**

Prema podacima koje dobivenim od tvrtke Akvavita iz Splita koja se bavi projektiranjem podmorskih cjevovodima dobili smo cijenu izgradnje podmorskog cjevovoda po dužnom metru.

Cijena izgradnje podmorskog cjevovoda ne može se točno odrediti jer ovisi o stanju na terenu i principu izvođenja tako da ona varira od 250 – 500 eura po metru.

U ovom slučaju za trošak izgradnje cjevovoda uzeta je cijena od 300 eura što ovisno o tečaju iznosi oko 2200 kn/m.

Za duljinu cjevovoda od 30 km investicija onda iznosi 66.000.000 kn.

**Tekući troškovi**

Cijenu vode u ovom slučaju je formirana prema cijeni vode na otoku Korčuli za sustav vodoopskrbe.

**Tabela 6. Struktura cijene**

Voda	8,92
Kanalizacija i pročišćavanje otpadnih voda	0
Voda+ Kanalizacija i pročišćavanje otpadnih voda	8,92
Koncesija	0,08
PDV	1,96
Naknada za korištenje voda	0,80
Naknada za zaštitu voda	0,90
<b>UKUPNO</b>	<b>12,66</b>

Ukupna cijena vode po kubiku sa svim davanjima iznosi **12,66 kn**.

## 7.2. Studija utjecaja na okoliš

U ovoj studiji najbitniji utjecaji dolaze od infrastrukture samog cjevovoda, obrade pitke vode i energije potrebne za pogon pumpi.

Za količinu vode uzeta je ista potrošnja kao i u ranijim slučajevima, a ona iznosi 110000 m<sup>3</sup>/god. Ili 2200000 m<sup>3</sup> kroz životni vijek od dvadeset godina.

Sa tim podatkom smo onda u programu odredili parametre za opskrbu pitkom vodom – Tap water, at user/RER S, koji se nalazi u Ecoinvent bazi.

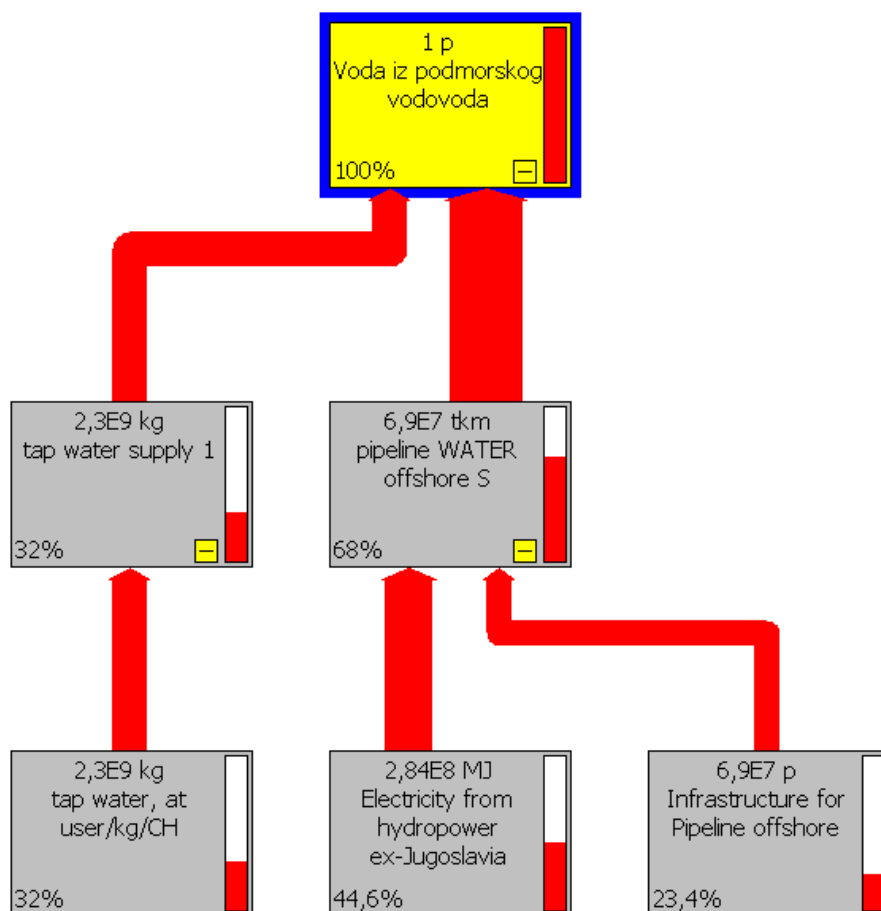
Nakon toga bilo je potrebno odrediti podatke za sami cjevovod, a to su potrošnja energije za pogon pumpi i vrijednost tkm (tona-kilometara) za sami cjevovod.

Kako je ranije navedeno potrošnja električne energije za pogon pumpi iznosi 3.5 kWh/m<sup>3</sup> što znači da u životnom vijeku potrebna energija za 2200000 m<sup>3</sup> iznosi 7700000 kWh.

Sa tim podacima se ulazi u program koji nam onda izbacuje rezultate utjecaja na okoliš.

Na slici 21 je prikazano „stablo“ za navedeni slučaj.





Slika 21. Stablo procesa podmorskog vodovoda

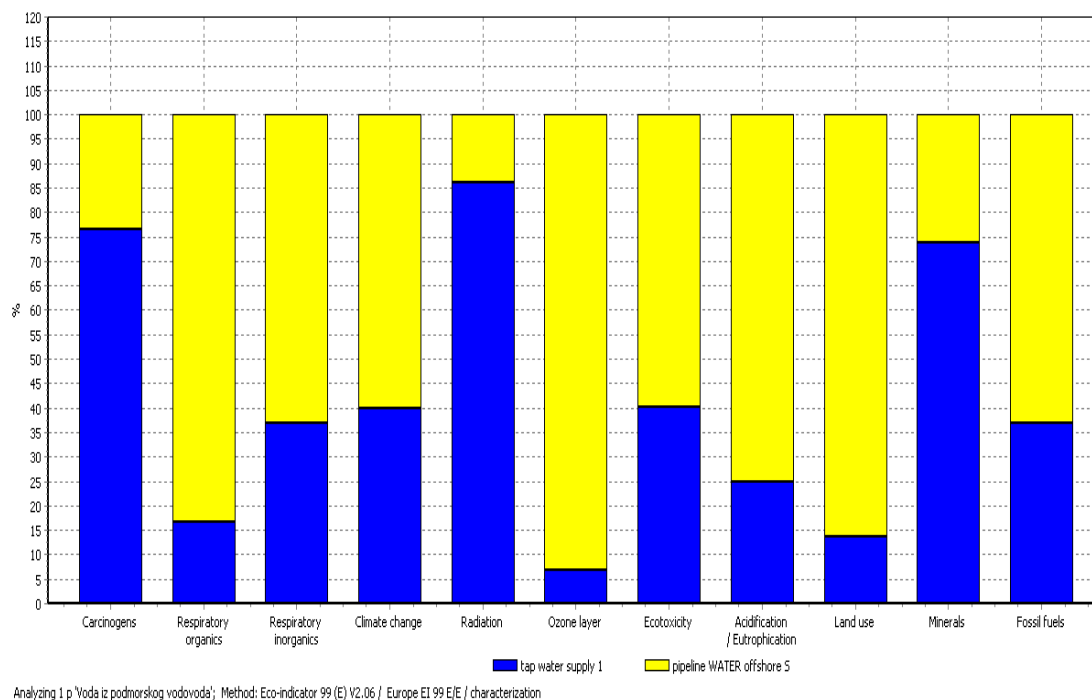
## Legenda sustava:

Tap water – pitka voda iz vodovoda

Electricity from hydropower Ex-Jugoslavia – el.energija iz hidroelektrane na području bivše Jugoslavije

Infrastructure for pipeline offshore – infrastruktura podmorskog cjevovoda

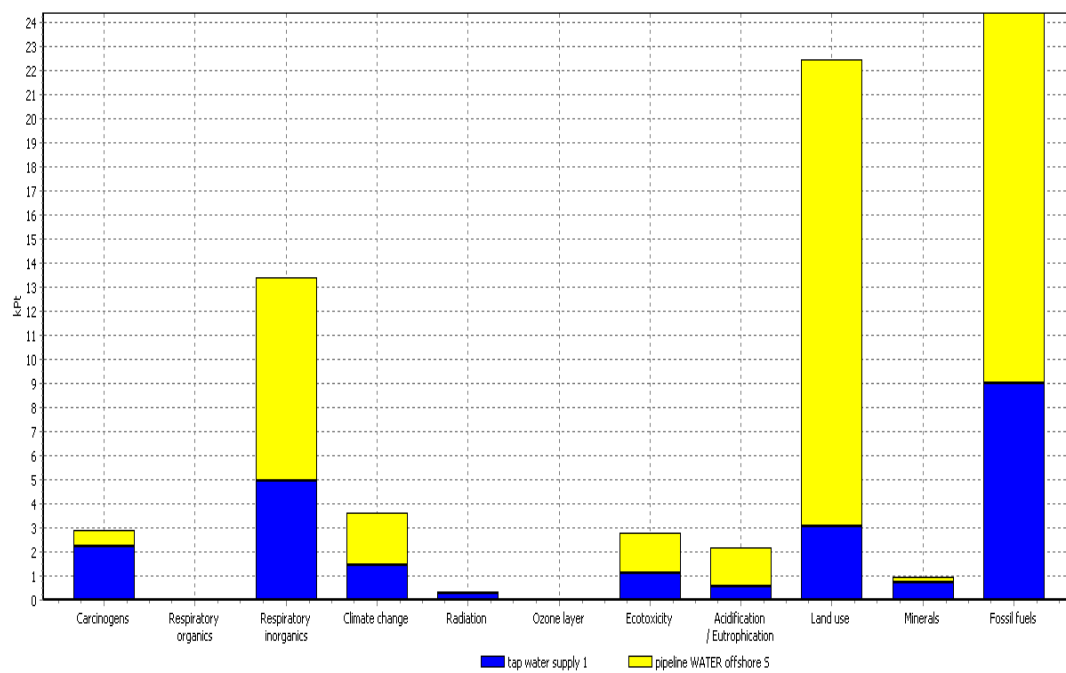
Nakon razvijenog stabla i određenih parametara u procesu možemo odabrati izračun utjecaja na okoliš koji su nam prikazani na slikama 22. i 23.



Slika 22. Karakterizacija utjecaja na okoliš

Na ovom dijagramu možemo vidjeti koliki utjecaj u cijelom procesu na pojavu kancerogenih tvari, iskorištavanje tla, potrošnju fosilnih goriva, ... ima opskrba pitkom vodom, a koliku sam podmorski cjevovod.

Na dijagramu na slici 23. Prikazan je utjecaj na okoliš samog sustava sa dodijeljenim eko bodovima tako da se može uspoređivati sa ostalim procesima.



Slika 23. Težinski faktor

## 8. Opskrba vodom putem vodonaosaca

U ovom slučaju izračunata je investicija i utjecaji na okoliš ako se za opskrbu vodom koriste brodovi vodonosci (Slika 24.). Oni dovoze vodu morem od kopna do otoka, a učestalost njihovog dolaska ovisi o potrebama.



Slika 24. Prikaz vodonosca

## 8.1. Investicijska studija

Za opskrbu Lastova pitkom vodom putem vodonosaca, koji dopremaju vodu do obale, potrebno je izgraditi priljučni cjevovod, pumpnu stanicu i infrastrukturne objekte.

Cijena te investicije procijenjena je na 2.500.000 kn.

Tekući troškovi za 1 m<sup>3</sup> pitke vode iznose 75,90 kn.

Cijena vode je dobivena od Komunalca Lastovo.

Sa tom cijenom i potrošnjom od 110000 m<sup>3</sup>/god. dobivamo kroz životni vijek od 20 godina potrošnju od 166.980.000 kn.

## 8.2. Studija utjecaja na okoliš

Kod ove studije jedini utjecaji na okoliš dolaze od obrade pitke vode koja je navedena u prošlim poglavljima i operativnih utjecaja vodonosca.

Za količinu vode uzeta je ista potrošnja kao i u ranijim slučajevima, a ona iznosi 110000 m<sup>3</sup>/god. Ili 2200000 m<sup>3</sup> kroz životni vijek od dvadeset godina.

Sa tim podatkom smo onda u programu odredili parametre za opskrbu pitkom vodom – Tap water, at user/RER S, koji se nalazi u Ecoinvent bazi.

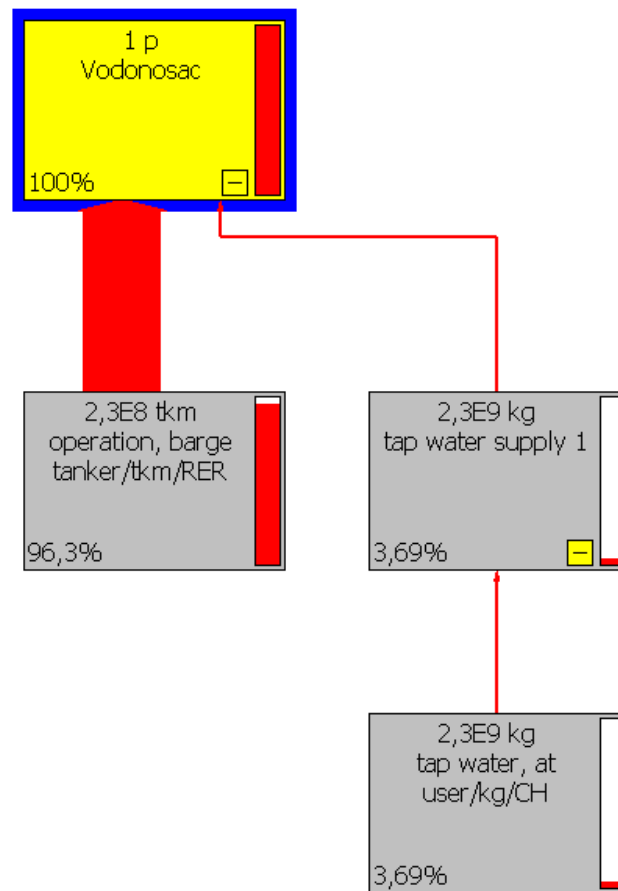
Kod utjecaja vodonosca na okoliš, što obuhvaća utjecaje nastale izgaranjem goriva, zagađenja mora, ... odabran je vodonosac Barge tanker, RER/S iz baze Ecoinvent.

Podatak koji je trebalo izračunati je količina tkm(tona-kilometara) koju smo dobili množenjem udaljenosti na koji treba dovesti vodu i količine vode.

Količina vode je 2200000 m<sup>3</sup>, a udaljenost 100 km tako da smo množenjem ovih dviju vrijednosti dobili podatak o 220000000 tkm.

Podatak o snazi pumpe određen je za procijenjeni potrebni tlak od 8 bara i iznosi 6.8 kW, što onda iznosi 0.378 kWh/m<sup>3</sup>. S ovim podatkom ne ulazimo u proračun jer je sadržan u opskrbi vodom (tap water supply), ali će nam trebati u dijagramima usporedbe.

Kako izgleda razvijeno stablo za ovaj slučaj može se vidjeti na slici 25.



Slika 25. „Stablo“ procesa

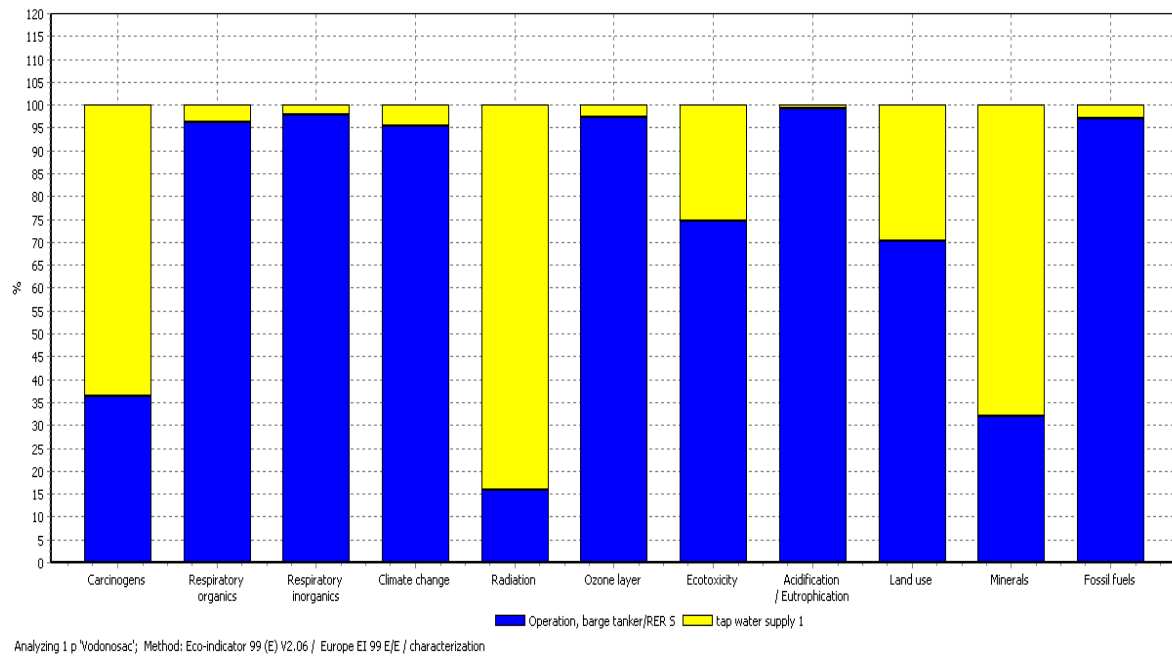
Legenda sustava:

Tap water – pitka voda iz vodovoda

Operation, barge tanker – vodonosac, korištenje

Nakon razvijanja stabla i unešenih podataka o potrošnji iz programa dobijamo podatke o utjecajima na okoliš i žive organizme.

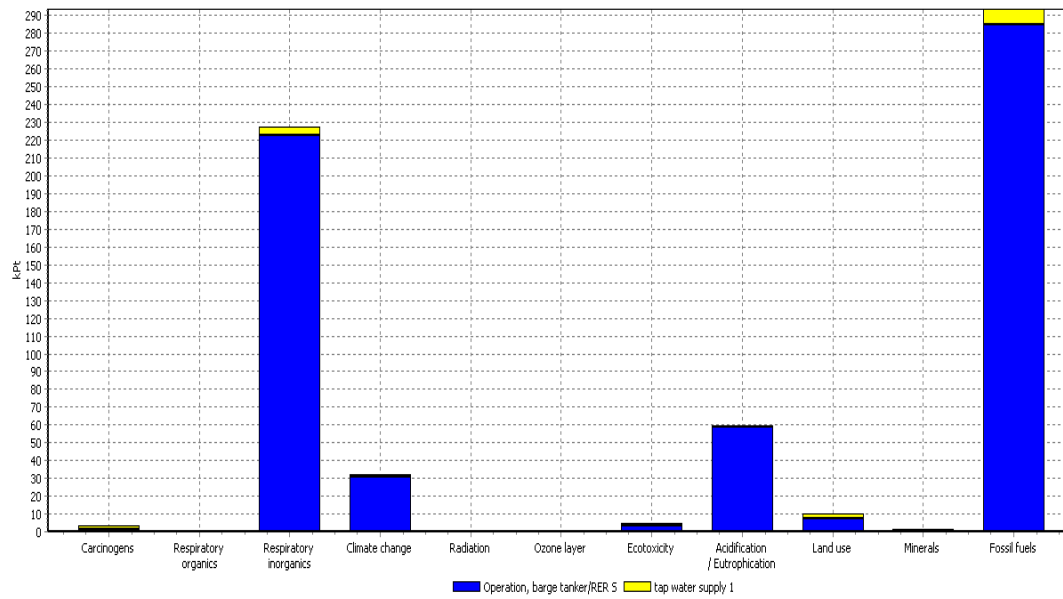
Kakvi su ti utjecaji može se vidjeti na slikama 26. i 27.



Slika 26. Karakterizacija utjecaja na okoliš

Iz ovog dijagrama vidimo da najveću utjecaj na okoliš ima sam vodonosac, a na sljedećem dijagramu ćemo vidjeti koliko je eko bodova dobio ovaj proces.



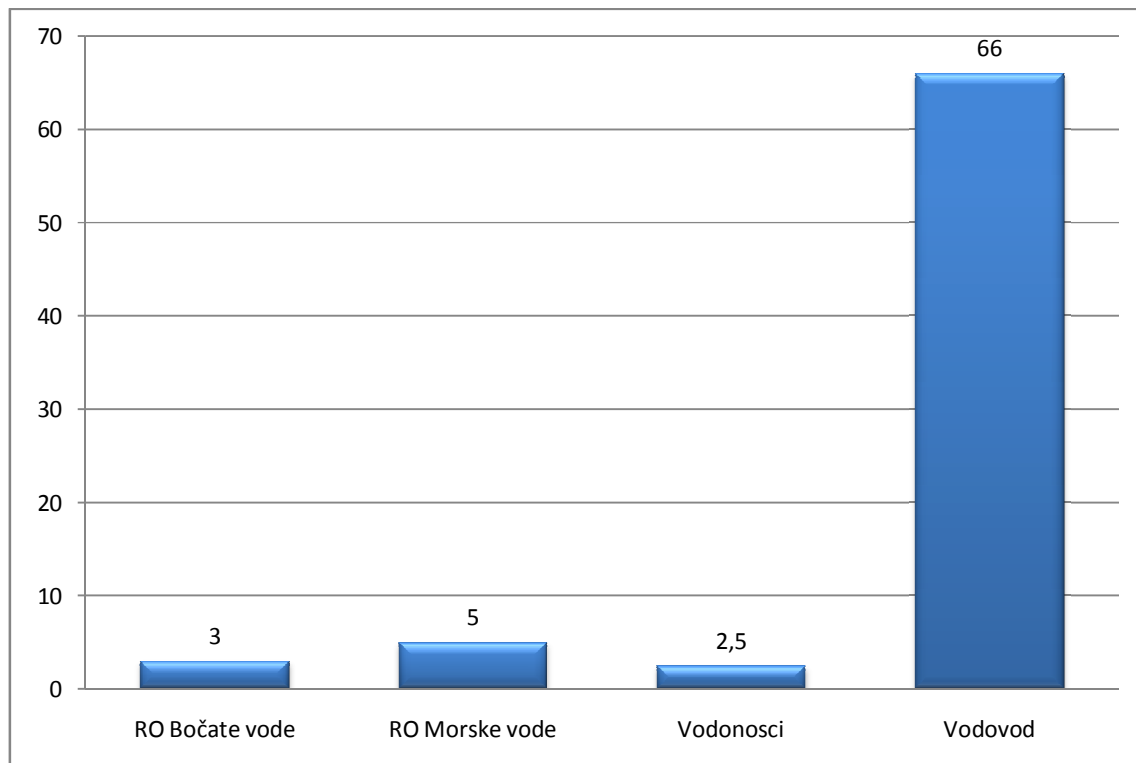


Slika 27. Težinski faktor

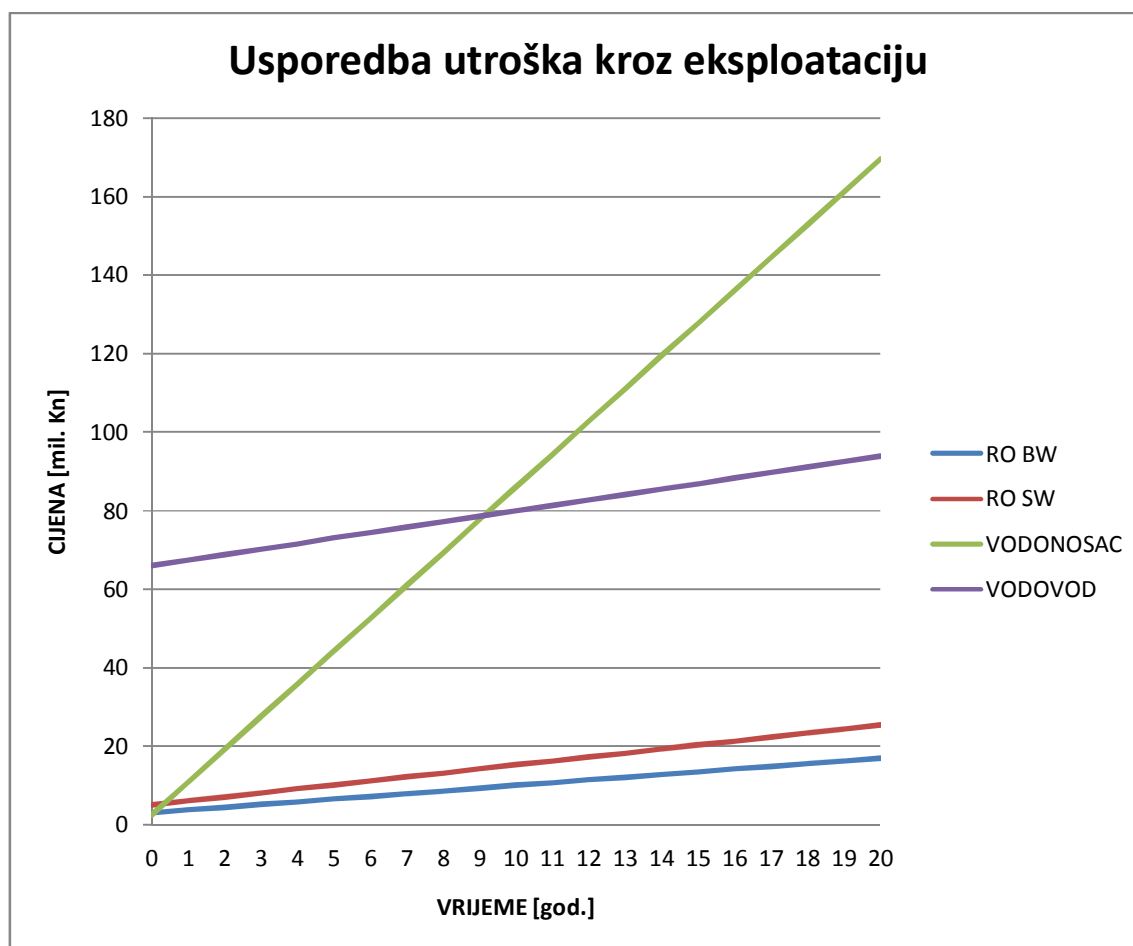
## 9. Usporedba rezultata

### 9.1. Usporedba investicijskih troškova

Na dijagramu na Slici 28. grafički je prikazana usporedba kapitalnih investicija za sva četiri tipa opskrbe vodom izražena u milijunima kuna.



Slika 28. Usporedba kapitalnih investicija



Slika 29. Usporedba troškova

Ovaj dijagram smo dobili prema rezultatima investicijskih studija koji su navedeni u tablici 6.

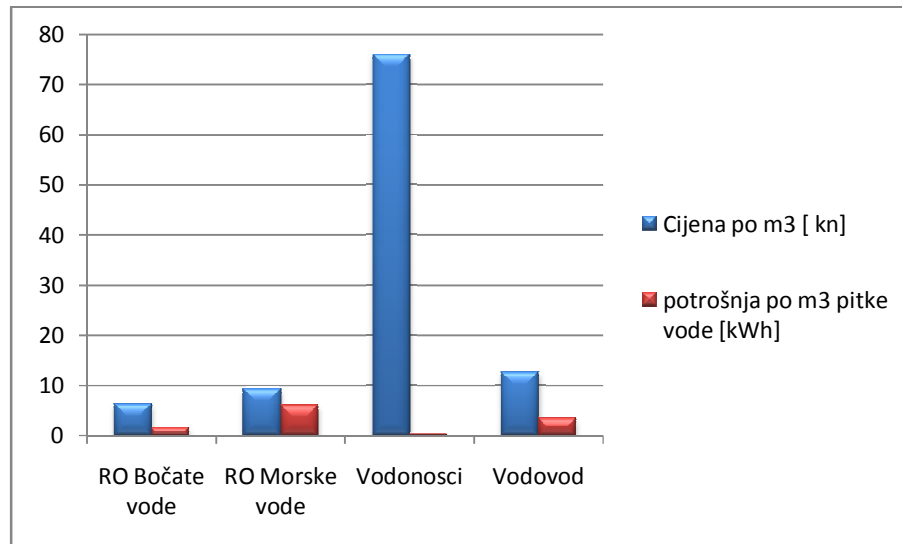
Tabela 7. Investicijski i „tekući“ troškovi

	Cijena investicije [kn]	Troškovi po m <sup>3</sup> pitke vode
Reverzna osmoza morske vode	5.000.000,00	9,2772
Reverzna osmoza bočate vode	3.000.000,00	6,3606
Podmorski vodovod	66.000.000,00	12,66
Vodonosci	2.500.000,00	75,90

Prema dijagramu na Slici 29. vidimo da za životni vijek od 20 godina vodovod i vodonosci uopće nisu isplativi. Podmorski vodovod je samo u usporedbi sa vodonoscima isplativ i svoju investiciju opravdava tek nakon 9.5 godina dok je kod reverzne osmoze bočate vode investicija u usporedbi s vodonoscima isplativa već nakon 6 mjeseci.

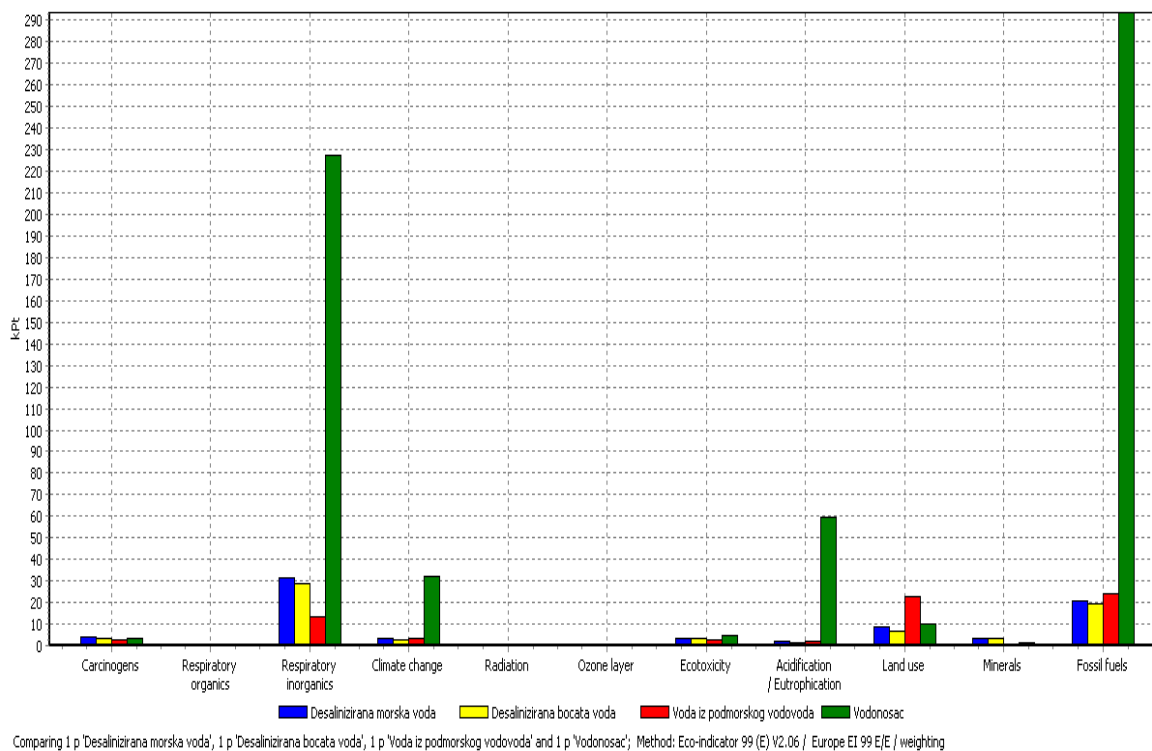
Prema ovom dijagramu možemo zaključiti da je sa ekonomskog stajališta najisplativiji sustav za reverznu osmozu bočate vode.

Za usporedbu je još grafički prikazana usporedba cijene i potrošnje po  $\text{m}^3$  pitke vode za svaki proces (Slika 30.).



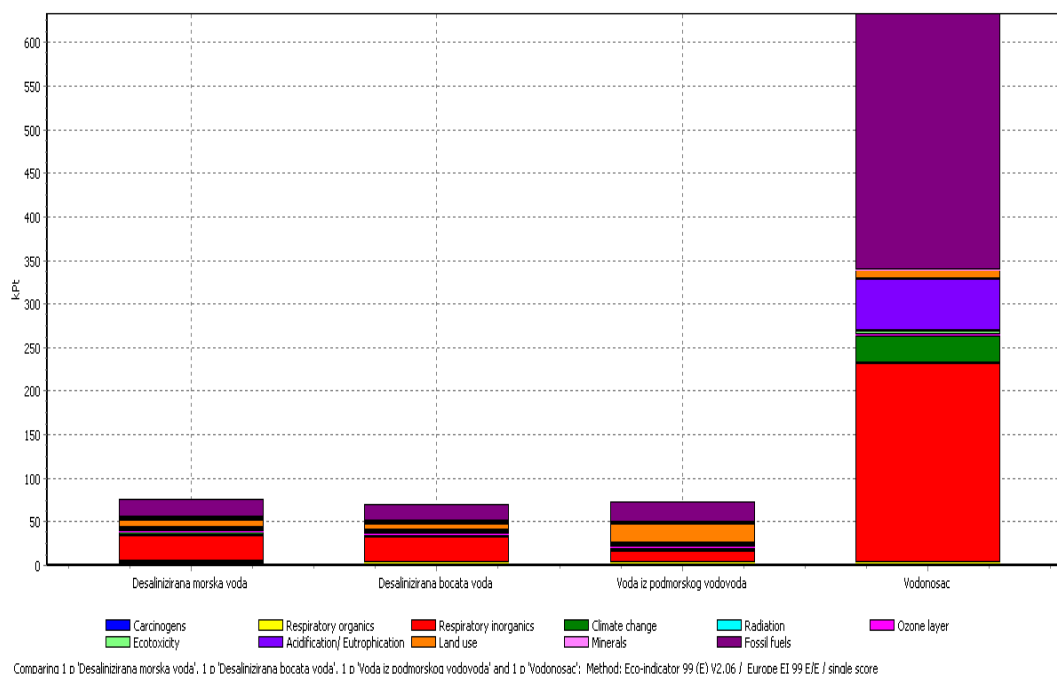
Slika 29. Usporedba troškova i potrošnje energije po  $\text{m}^3$

## 9.2. Usporedba utjecaja na okoliš



**Slika 31. Težinski faktori sva 4 tipa vodoopskrbe**

U dijagramu na Slici 31. se mogu očitati vrijednosti (eko-bodovi) utjecaja svakog pojedinog tipa vodoopskrbe na klimatske promjene, ozonski omotač, ...



Slika 32. Ukupni utjecaj na okoliš za sva 4 tipa vodoopskrbe

U ovom dijagramu nam je prikazano ono što je i najbitnije, a to je usporedba ukupnih utjecaja na okoliš svakog pojedinog tipa vodoopskrbe otoka Lastova.

Iz dijagrama vidimo da najštetniji utjecaj na okoliš i žive organizme ima sustav vodoopskrbe putem vodonosaca jer najviše koristi fosilna goriva koja izgaranjem stvaraju vrlo nepovoljne uvjete za okoliš i žive organizme.

Sustav za desalinizaciju bočate vode i podmorski vodovod imaju skoro iste utjecaje na okoliš iako imaju razlike u potrošnji energije, a to je zato jer se ta mala razlika nadoknađuje štetnim utjecajima podmorskog vodovoda (izgradnja i eksploatacija).

Sustav za reverznu osmozu morske vode ima nešto nepovoljniji utjecaj na okoliš, a to uzrok tome je veća potrošnja električne energije.

Još treba naglasiti da se ovako velika razlika između vodonosaca i ostala 3 tipa vodoopskrbe javlja jer se električna energija dobija iz hidroelektrane koja je relativno „čista“ energija.

## 10. Zaključak

Prema usporedbama ekonomskih i ekoloških rezultata sva 4 tipa vodoopskrbe možemo zaključiti da se kao najoptimalnije rješenje ističe **Sustav za desalinizaciju bočate vode**.

U ekonomskoj analizi smo vidjeli da je taj sustav najpovoljniji i prema kapitalnim i prema tekućim troškovima dok je u ekološkoj analizi postigao jednake rezultate kao i sustav vodoopskrbe podzemnim vodovodom.

Ovime zaključujem da je najoptimalniji slučaj za trajno rješavanje problema vodoopskrbe otoka Lastova odabrati sustav za desalinizaciju bočate vode procesom reverzne osmoze.

## Literatura

- [1] [www.lastovo.org](http://www.lastovo.org)
- [2] Sonneman G., Castells F., Schumacher M. Integrated life-cycle risk assessment for industrial processes, USA, 2004.
- [3] HRN EN ISO14040, Zagreb, 2008.
- [4] HRN EN ISO14044, Zagreb, 2008.
- [5] Dobrović S., Predavanja iz kolegija „Voda, gorivo i mazivo“, Zagreb, 2005.
- [6] Košutić K. Fizikalno kemijski postupci obrade vode
- [7] Programski paket ROSA 6.1
- [8] Programski paket SimaPro 7 Demo



## **Prilozi:**

- Tehnološka shema procesa 1
- Tehnološka shema procesa 2
- Rezultati programskog paketa ROSA 6.1 Lastovo-morska voda
- Rezultati programskog paketa ROSA 6.1 Lastovo-bocata voda
- Granice procesa